

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-149382

(43)Date of publication of application : 21.05.2003

(51)Int.Cl.

G21C 19/32  
 B23K 20/12  
 G21F 3/00  
 G21F 5/00  
 G21F 9/36  
 // B23K103:10

(21)Application number : 2001-350711

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

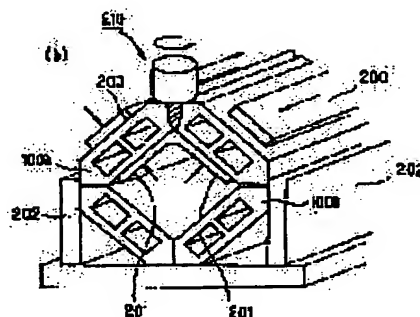
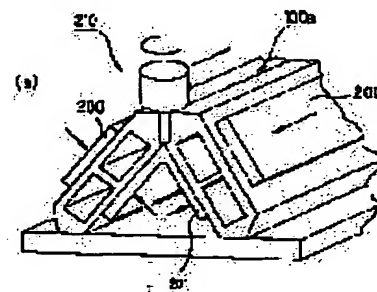
(22)Date of filing : 15.11.2001

(72)Inventor : OSONO MASANARI  
 ONO ATSUSHI  
 MATSUOKA HISAHIRO  
 OKAME SHINJI

(54) RECTANGULAR PIPE AND BASKET FOR STORING SPENT FUEL ASSEMBLY, AND  
 RADIOACTIVE SUBSTANCE STORING VESSEL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently provide a rectangular pipe formed of a material hard to extrude.  
 SOLUTION: Plate-like materials 100 are fixed with jigs 200, and joint surfaces of both of them are pressed against each other. The inside surface side of each plate-like material 100 is supported by a back-up jig 201, and deformation in jointing is restrained. By pressing a jointing tool 210 into a joint part 100a of the plate-like materials 100 while turning it, the plate-like materials 100 are jointed to each other by friction-stirring jointing. After two L-shaped members 100b are thus manufactured, the L-shaped members 100b are faced to each other and fixed with jigs 202. With the jointing tool 210, the joint part of the L-shaped members 100b is jointed by friction-stirring jointing. Similarly, the joint part on the side not jointed yet is jointed together by friction-stirring jointing with the jointing tool 210, so that this rectangular pipe is completed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19) 日本国特許庁 (J P)

# (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
**特開2003-149382**  
(P 2 0 0 3 - 1 4 9 3 8 2 A)  
(43) 公開日 平成15年5月21日 (2003.5.21)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
G21C 19/32		G21C 19/32	P 4E067
B23K 20/12	310	B23K 20/12	310
G21F 3/00		G21F 3/00	N
5/00		9/36	541 A
9/36	541	B23K103:10	

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全38頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-350711 (P 2001-350711)

(22) 出願日 平成13年11月15日 (2001.11.15)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 大園 勝成

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(72) 発明者 大野 淳

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三

菱重工業株式会社神戸造船所内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

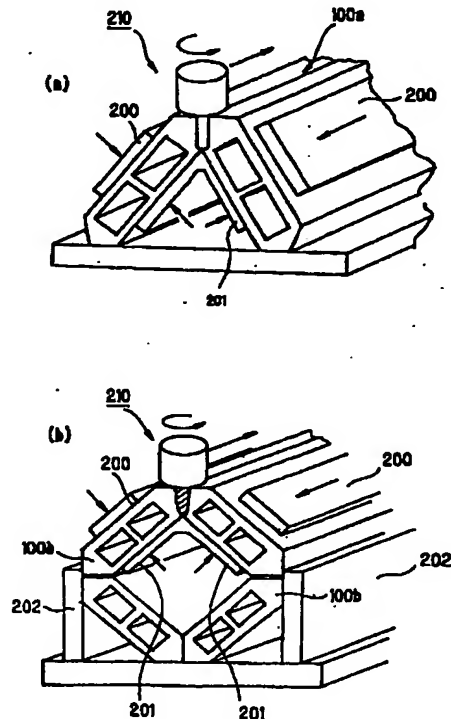
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 使用済み燃料集合体格納用角状パイプおよびバスケット、並びに放射性物質格納容器

## (57) 【要約】

【課題】 難押出し材で構成される角状パイプを効率よく提供すること。

【解決手段】 板状材100は治具200によって固定されており、両者の接合面同士が突合わされている。また、板状材100の内壁側はバックアップ治具201によって支えられており、接合時の変形を抑えるようになっている。接合ツール210を回転させながら板状材100の接合部100aに押し込んで、板状材100同士を摩擦撓接合によって接合する。このようにして2個のL字状の部材100bを製造したら、治具202によってL字状の部材100b同士を向かい合わせて固定する。そして、接合ツール210によって、L字状の部材100bの接合部を摩擦撓接合によって接合する。同様に、まだ接合していない方の接合部を接合ツール210によって摩擦撓接合して、角状パイプが完成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 B-A1 材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、前記 B-A1 材を構成する複数の材料のうち溶融温度が低い方の材料の溶融温度以下で接合して構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 2】 B-A1 材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、当該パイプ構成部材の母材である A1 を半溶融状態としてから接合して構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 3】 B-A1 材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、摩擦撚拌接合によって接合して構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 4】 さらに、上記角状パイプを千鳥配置したときに斜め隣に配置される他の角状パイプの角部外側に設けられた平面と当接する平面を、上記角状パイプの角部外側に設けたことを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 5】 さらに、上記角状パイプを千鳥配置したときに斜め隣に配置される他の角状パイプの角部外側に形成された段部とかみ合う段部を、上記角状パイプの角部外側に設けたことを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 6】 さらに、上記角状パイプは、その角部において上記パイプ構成部材同士を接合してなることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 7】 さらに、上記角状パイプの軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、この断面内における対角線の交点に向かうことを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 8】 さらに、上記角状パイプの軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、この断面内における対角線に対して角度を有することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 9】 さらに、上記角状パイプの角部内側には上記角状パイプの軸方向に向かう溝を設け、さらに当該溝の断面は少なくとも弧を有する形状とし、且つ上記接合線がこの弧に接するようにしたことを特徴とする請求項 1～8 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 10】 さらに、上記溝の断面形状は U 字形であることを特徴とする請求項 9 に記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 11】 さらに、上記角状パイプは、その側面において上記パイプ構成部材同士を接合してなることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一つに記載の使用済

み燃料集合体格納用角状パイプ。

【請求項 12】 請求項 1～11 のいずれか一つに記載の角状パイプを千鳥状に配置して構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 13】 B-A1 材によって作られた部材の母材である A1 を半溶融状態としてすべての前記部材同士を接合することで、使用済み燃料集合体が収納される格子状のセルを構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用バスケット。

10 【請求項 14】 さらに、四個の上記セルで囲まれる部分には、当該セルの軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けたことを特徴とする請求項 13 に記載の使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 15】 B-A1 材によって作られた複数の部材同士を、当該部材の母材である A1 を半溶融状態としてから接合してバスケット構成材とし、さらに複数の当該バスケット構成材の端部同士を組み合わせることで格子状のセルを構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用バスケット。

20 【請求項 16】 B-A1 材によって作られた複数の部材同士を、当該部材の母材である A1 を半溶融状態としてから接合して断面十字状のバスケット構成材とし、さらに複数の当該バスケット構成材の端部同士を組み合わせることで構成したことを特徴とする使用済み燃料集合体格納用バスケット。

30 【請求項 17】 さらに、上記バスケット構成材の少なくとも一つの端部を、このバスケット構成材の母材である A1 を半溶融状態としてから接合し格子状のセルを構成したことを特徴とする請求項 15 または 16 のうちいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 18】 さらに、上記断面十字状のバスケット構成材は、その交差部分にこのバスケット構成材を軸方向に貫く貫通孔を備えていることを特徴とする請求項 16 または 17 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 19】 さらに、上記バスケットの外周部には、当該バスケットを構成する材料の母材である A1 を半溶融状態として伝熱板を接合したことを特徴とする請求項 12～18 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 20】 上記 B-A1 材の B 含有率は 1.5 重量%以上 7.0 重量%以下であることを特徴とする請求項 1～19 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケット。

50 【請求項 21】 上記 B-A1 材には少なくとも濃縮ボロンが添加されていることを特徴とする請求項 1～20 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケット。

【請求項 22】 B-A1 材で作られた複数の部材同士を、当該部材の母材である A1 を半溶融状態として接合することを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 23】 B-A1 材で作られた複数の部材同士を摩擦撓接合によって接合することを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 24】 B-A1 材で作られた複数の部材同士を接合して使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットを製造するにあたり、前記部材の接合面と作業面とのなす角度が 90 度よりも大きい場合には、円錐状の胴部先端に円筒状の撓拌子を備えた接合ツールによって摩擦撓接合することを特徴とする使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 25】 さらに、接合対象である上記部材同士の接合部であって、胴部と撓拌子とからなる接合ツールの前記胴部が接する側とは反対側に、A1 用ろう材または A1 材を配置して、前記接合部を摩擦撓接合することを特徴とする請求項 22～24 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 26】 さらに、上記部材は、粉体冶金法または溶製法によって中性子吸収に対する有効元素である B、および他の有効元素を A1 母材中に分散含有させた B-A1 のピレット材を押出し成形加工したことを特徴とする請求項 22～25 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 27】 さらに、上記他の有効元素は Ti、Zr、または Fe のうち少なくとも一つであることを特徴とする請求項 26 に記載の使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法。

【請求項 28】 請求項 12～21 のいずれか一つに記載の使用済み燃料集合体格納用バスケットの外形に放射性物質格納容器本体のキャビティ内形状を合わせて当該バスケットを挿入し、前記格子内に使用済み燃料集合体を収納することを特徴とする放射性物質格納容器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、使用済み燃料集合体のバスケットに関し、さらに詳しくは、使用済み燃料集合体格納用角状パイプ、バスケット、およびこれらの製造方法並びに放射性物質格納容器に関する。

【0002】

【従来の技術】 核燃料サイクルの終期にあつて燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み燃料集合体という。使用済み燃料集合体は、FP など高放射能物質を含むので熱的に冷却する必要があるため、原子力発電所の冷却ピットで所定期間（3～6 ヶ月間）冷却さ

れる。その後、遮蔽容器であるキャスクに収納され、車両または船舶で再処理施設に搬送、貯蔵される。使用済み燃料集合体をキャスク内に収容するにあたっては、バスケットと称する格子状断面を有する保持枠を用いる。使用済み燃料集合体は、このバスケットに形成した複数の収納空間であるセルに 1 体ずつ挿入される。これによって、輸送中の振動等に対する適切な保持力を確保している。

【0003】 このようなキャスクの従来例としては、

「原子力 eye」（平成 10 年 4 月 1 日発行：日刊工業出版プロダクション）や特開昭 62-242725 号公報などに、様々な種類のものが開示されている。つぎに、この発明の説明にあたってその前提となったキャスクについて説明する。なお、当該キャスクは、説明の便宜のために示すものであり、必ずしもいわゆる公知、公用に該当するものではない。

【0004】 図 45 は、キャスクの一例を示す斜視図である。また、図 46 は、図 45 に示したキャスクの径方向断面図である。キャスク 500 は、筒形状の胴本体 501 と、胴本体 501 の外周に設けたレジン 502 と、その外筒 503、底部 504 および蓋部 505 から構成されている。胴本体 501 および底部 504 は、 $\gamma$ 線遮蔽体である炭素鋼製の鍛造品である。また、蓋部 505 は、ステンレス鋼製の一次蓋 506 および二次蓋 507 からなる。胴本体 501 と底部 504 は、突き合わせ溶接により結合してある。

【0005】 一次蓋 506 および二次蓋 507 は、胴本体 501 に対してステンレス製のボルトにより固定されている。蓋部 505 と胴本体 501 との間には、アルミニウム被覆等を施した金属製の中空リングが介在し、内部の気密を保持している。キャスク本体 512 の両側には、キャスク 500 を吊り下げるためのトラニオン 513 が設けられている（一方は省略）。また、キャスク本体 512 の両端部には、内部に緩衝材として木材などを封入した緩衝体 514 が取り付けられている（一方は省略）。

【0006】 胴本体 501 と外筒 503 との間には、熱伝導を行う複数の内部フィン 508 が設けられている。伝熱効率を高めるため、内部フィン 508 の材料には銅を用いる。レジン 502 は、この内部フィン 508 により形成される空間に流動状態で注入され、熱硬化反応等で固化形成する。バスケット 509 は、角パイプ 510 を図 46 のような束状に集合させた構造であり、胴本体 501 のキャビティ 511 内に拘束状態で挿入してある。角パイプ 510 は、挿入した使用済み燃料集合体が臨界に達しないように、中性子吸収材（ホウ素：B）を混合したアルミニウム合金によって構成されている。また、それぞれの角パイプ 510 により形成される収容空間がセル 515 と呼ばれ、一つのセル 515 に対して 1 本の使用済み燃料集合体を収容することができる。な

お、キャスク本体512の両側には、キャスク500を吊り下げるためのトラニオン513が設けられている

(一方は省略)。また、キャスク本体512の両端部には、内部に緩衝材として木材などを組み込んだ緩衝体514が取り付けられている(一方は省略)。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、キャスクやキャニスタ等の放射性物質格納容器に使用されているバスケットを構成する角パイプ510はB-A1材を押出し加工することによって製造される。特にB-A1の粉体焼結材を押出し加工によって成形した部材はB等が母材中へ均一に分散するため、優れた機械的強度や中性子吸収能を示す。しかし、この材料はA1母材に硬度の高いBやB化合物が分散しているため、押出しダイスが摩耗しやすい。

【0008】ここでPWR(Pressurized Water Reactor: 加圧水型原子炉)用燃料は燃焼度が大きいので、使用済み燃料を格納するバスケットには確実に中性子の漏れを防ぐ機能が要求される。このため、PWR用の使用済み燃料を格納するバスケットに使用する角パイプは、その壁面にフラックストラップを設けてある。このような角パイプや、BWR(Boiling Water Reactor: 沸騰水型原子炉)用であっても角部等が複雑な形状をしたパイプは表面積が大きくなるため、押出しダイスの負担もそれだけ大きくなる。その結果、押出しダイスの摩耗が激しく、また押出し圧力も大きくなるので押出し成形による製造が困難である。そこで、上記パイプを分割して製造しこれらを接合すれば、一つ一つの構成部品の寸法を小さく収めることができるので、押出し成形加工は比較的容易である。

【0009】ところが、分割して押出し成形加工したB-A1材を溶接によって接合する場合には、つぎのような問題がある。B-A1材を溶融池ができる溶接によって接合すると、溶接部が凝固する際にA1母材中へ分散しているBやB化合物が溶接部で凝集し、溶接部の機械的性質や中性子吸収能を劣化させてしまう。このため、この部材を溶融池ができる溶接によって接合すると、上記理由から溶接部の機械的性質等が低下し、予定した性能を発揮できなくなってしまう。したがって、B-A1材の押出し成形部材を溶接によって組み合わせて、使用済み燃料を収納する角パイプ510を製造することは現実的ではなかった。

【0010】そこで、この発明は、上記に鑑みてなされたものであって、B-A1材のような難溶接材で構成される角状パイプであっても効率よく製造できること、衝撃や振動等に対して強い堅牢なバスケットを得ること、のうち少なくとも一つを達成できる使用済み燃料集合格納用角状パイプ、バスケット、およびこれらの製造方法並びに放射性物質格納容器を提供することを目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項1に係る使用済み燃料集合格納用角状パイプは、B-A1材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、前記B-A1材を構成する複数の材料のうち溶融温度が低い方の材料の溶融温度以下で接合して構成したことを特徴とする。

【0012】この使用済み燃料集合格納用角状パイプは、B-A1材料を構成する複数の材料のうち溶融温度が低い方の材料の溶融温度以下で、B-A1材のパイプ構成部材同士を接合する。このように、溶融温度の低い材料の溶融温度以下で接合するので、A1マトリックス中に分散したBまたはB化合物が凝集することなく接合できる。このため、接合継ぎ手部においてはもとのB-A1材が有する、優れた性質が損なわれない。これによって、接合継ぎ手部の靱性は接合前とほとんど変わらず、また、中性子吸収能も接合前と略同等となる。さらに、熱歪も小さいので、寸法精度のよい角状パイプを製造でき、また、接合後の修正もほとんど要さないので、製造効率を高くできる。

【0013】ここで、B-A1材は難押出し材であり、大きな寸法や複雑な形状の部材を押出し成形することは困難である。また、あまり寸法の大きな部材を押し出すと、押出しダイスの寿命を縮めてしまい、製造効率を低下させていた。しかし、この角状パイプは、例えば、4枚の板状部材を接合して作ることができる。このため、押出しやすい寸法・形状の部材を接合して角状パイプを製造できるので、これまで押出し成形が困難であったB-A1材でも、寸法の大きな角状パイプや、断面形状の複雑な角状パイプも得ることができる。ここで、この発明においては、B-A1材は粉体焼結によって得られるものの他、溶製法によって得られるものも含まれる(以下同様)。

【0014】なお、使用済み燃料集合体は、軸方向に垂直な断面形状が矩形であるため、使用済み燃料集合格納用パイプも軸方向に垂直な断面内形状を使用済み燃料集合体に合わせた角形としてある。このため、前記角パイプの外形も略角形になるが、このパイプを束ねて使用済み燃料集合格納用のバスケットを構成するときには、配置の都合上、外形の角を落とした形状等になることがある。このようなパイプは厳密に言えば角パイプとはいえないが、その外形は略使用済み燃料集合体の外形に近いので、このようなパイプを以下角状パイプというものとする。なお、角状パイプには、通常の角パイプも含むものとする(以下同様)。

【0015】また、請求項2に係る使用済み燃料集合格納用角状パイプは、B-A1材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、当該パイプ構成部材の母材であるA1を半溶融状態としてから接合して構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合格納用角状パイ

ブは、B-A1材料のパイプ構成部材同士を、母材であるA1が半熔融の状態で接合する。この接合においては、母材を熔融して接合する溶接と異なり、母材であるA1はシャーベット状の半熔融状態になってから接合する。このため、接合部の熱歪が小さく、接合後における修正の手間も少なくすむので製造に手間を要さない。また、母材であるA1が半熔融状態となって接合するので、分散粒子であるBやB化合物は凝固の際にほとんど凝集しない。これによって、接合継ぎ手部位においてはもとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持できる。その結果、複数の部材を接合して角状パイプを製造できるので、これまで押し出し成形が困難であったB-A1材でも、寸法の大きな角状パイプや、断面形状の複雑な角状パイプを得ることができる。

【0016】また、請求項3に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、B-A1材によって作られた複数のパイプ構成部材同士を、摩擦撓接合によって接合して構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用角状パイプでは、材料を熔融させないで接合する摩擦撓接合によってB-A1材のパイプ構成部材同士を接合している。このため、継ぎ手部位においては、もとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持できる。これによって、これまで押し出し成形が困難であった寸法の大きいB-A1角状パイプ等を、複数の部材を接合することで製造できる。また、熱変形も小さいため、接合後の修正も軽微であり、製造の手間も軽減できる。

【0017】また、請求項4に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプを千鳥配置したときに斜め隣に配置される他の角状パイプの角部外側に設けられた平面と当接する平面を、上記角状パイプの角部外側に設けたことを特徴とする。

【0018】この使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記角状パイプの外側角部を落として平面を形成している。そして、この角状パイプを千鳥状に配置して使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成したときには、斜め隣の角状パイプがこの平面同士を当接した状態で組み立てられる。このため、バスケットを組み立てる作業が容易にできるので、バスケットの製造に手間を要さない。なお、上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0019】また、請求項5に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプを千鳥配置したときに斜め隣に配置される他の角状パイプの角部外側に形成された段部とかみ合う段部を、上記角状パイプの角部外側に設けたことを特徴とする。

【0020】この使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記角状パイプの角部に段部を設けてある。そし

て、この角状パイプを千鳥状に配置して使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成したときには、斜め隣の角状パイプの角部に形成された段部とこの段部とがかみ合う。このため、角状パイプ同士がずれにくくなるので、この角状パイプによって構成したバスケットは、衝撃や振動に対しても強くなる。なお、上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0021】また、請求項6に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプは、その角部において上記パイプ構成部材同士を接合してなることを特徴とする。角状パイプの側壁内に中性子の透過を抑制するフラックストラップを設ける場合には、強度を保つためにリブを設ける必要がある。この角状パイプでは、角部においてパイプ構成部材同士を接合するので、このリブの形成に影響を与えない。このため、最も適した位置に最適な大きさのリブを形成して、効率のよい設計ができる。なお、この他に上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0022】また、請求項7に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプの軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、この断面内における対角線の交点に向かうことを特徴とする。このため、比較的簡単な冶具でパイプ構成部材を拘束できるので比較的容易に製造できる。なお、この他に上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0023】また、請求項8に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプの軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、この断面内における対角線に対して角度を有することを特徴とする。この角状パイプでは、接合線が対角線に対して角度を持つため、接合線が対角線の交点に向かう場合と比較して接合面積を大きくできる。これによって接合部の継ぎ手強度が向上する。また接合部における伝熱面積も大きくできるので、使用済み燃料が発生する崩壊熱をより効率よく外部に放出することができる。なお、この他に上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0024】また、請求項9に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプの角部内側には上記角状パイプの軸方向に向かう溝を設け、さらに当該溝の断面は少なくとも弧を有する形状とし、且つ上記接合線がこの弧に接するようにしたことを特徴とする。また、請求項10に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイ



ブにおいて、さらに、上記溝の断面形状はU字形であることを特徴とする。

【0025】この使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、角部内側に溝を設けてある。そして、この溝の断面が有する弧の部分に、パイプ構成部材の接合部における接合線が接するようになっている。このため、角部における応力集中を緩和できるので、落下の衝撃や振動に対して強いバスケットを構成することができる。また、断面U字状としたことで、溝の開口部を大きくしないで溝の深さを調整できる。なお、この他に上記角状パイプによって奏される作用・効果も同時に奏することは言うまでもない。

【0026】また、請求項11に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプにおいて、さらに、上記角状パイプは、その側面において上記パイプ構成部材同士を接合してなることを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用角状パイプは、その側面でパイプ構成部材同士を接合するので、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成したときに応力の集中する角部に接合継ぎ手部は生じない。このため、応力の集中する部分をより堅牢な構造とすることができるので、この角状パイプによって構成したバスケットも、より堅牢なものを得ることができる。また、角状パイプの側面でパイプ構成部材を接合するため容易に製造できるので、製造に手間を要しない。

【0027】また、請求項12に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記角状パイプを千鳥状に配置して構成したことを特徴とする。このため、PWR用使用済み燃料集合体を収納する使用済み燃料集合体格納用バスケットを比較的安価で容易に提供できる。また、上記角状パイプの接合継ぎ手部分においては、靱性劣化等はほとんど発生しないので、堅牢な構造のバスケットを得ることができる。

【0028】また、請求項13に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、B-A1材によって作られた部材の母材であるA1を半溶融状態としてすべての前記部材同士を接合することで、使用済み燃料集合体が収納される格子状のセルを構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、すべてのバスケット構成材同士を接合し、全体を一体として構成する。このため、バスケット全体の剛性を非常に高くできるので、落下の衝撃や振動に対して、極めて堅牢な構造とすることができる。また、全体を一体化しているため、キャスク等への組み込みを容易にできる。なお、バスケット構成材の長手方向すべてにわたって接合しなくともよい。例えば、バスケット構成材の両端のみを接合するようにしてもよい。このようにすると、接合部分を少なくできるので、バスケットの製造が容易になる。

【0029】また、請求項14に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用

バスケットにおいて、さらに、四個の上記セルで囲まれる部分には、当該セルの軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けたことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、使用済み燃料集合体を収納する格子状のセルを有するが、この格子の交差部分に、当該セルの軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けてある。この貫通孔によって、斜め隣のセルに向かって透過する中性子の線量を抑制できる。また、バスケット全体の重量を軽減できる。

10 【0030】また、請求項15に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、B-A1材によって作られた複数の部材同士を、当該部材の母材であるA1を半溶融状態としてから接合してバスケット構成材とし、さらに複数の当該バスケット構成材の端部同士を組み合わせる格子状のセルを構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、全体を一体として構成するのではなく、複数の部材を組み合わせるバスケット構成材を作り、このバスケット構成材を組み合わせるバスケットを構成する。このため、全体の剛性は上記バスケットと比較して低下するが、接合部分が低減する結果、製造の手間を大幅に低減できる。また、バスケット構成材の単位をある程度大きくとれば、バスケット全体の剛性も比較的大きくできる。このため、角状パイプを千鳥状に組み合わせる構成したバスケットよりも堅牢なバスケットを構成しやすい。なお、B-A1材によって作られた部材の長手方向すべてにわたって接合しなくともよい。例えば、当該部材の両端のみを接合するようにしてもよい。このようにすると、接合部分を少なくできるので、バスケット構成材の製造が容易になる。

30 【0031】また、請求項16に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、B-A1材によって作られた複数の部材同士を、当該部材の母材であるA1を半溶融状態としてから接合して断面十字状のバスケット構成材とし、さらに複数の当該バスケット構成材の端部同士を組み合わせる構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、荷重の集中する十字状断面の交差部分を、母材であるA1を半溶融状態としてから接合している。このため、上記角状パイプを千鳥状に配置したバスケットと比較して、この部分の強度を高くできる。したがって、落下の衝撃や振動等に対しても角状パイプによるバスケットよりも強くできるので、より堅牢なバスケットを作ることができる。なお、B-A1材によって作られた部材の長手方向すべてにわたって接合しなくともよい。例えば、当該部材の両端のみを接合するようにしてもよい。このようにすると、接合部分を少なくできるので、断面十字状のバスケット構成材の製造が容易になる。

40 【0032】また、請求項17に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、さらに、上記バスケット構成材の

少なくとも一つの端部を、このバスケット構成材の母材であるA1を半溶融状態としてから接合し格子状のセルを構成したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、バスケット構成材の端部同士を接合して、より大きなバスケット構成材の単位としてバスケットを構成する。このため、上記角状パイプを千鳥状に配置したバスケットと比較して、バスケット全体の剛性をより高くして、より堅牢なバスケットを構成できる。また、バスケット構成材のすべての端部同士を接合しなくてもよいので、比較的容易にバスケットを製造できる。なお、バスケット構成材の長手方向すべてにわたって接合しなくてもよい。例えば、当該バスケット構成材の両端のみを接合するようにしてもよい。このようにすると、接合部分を少なくできるので、バスケット構成材の製造が容易になる。

【0033】また、請求項18に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、さらに、上記断面十字状のバスケット構成材は、その交差部分にこのバスケット構成材を軸方向に貫く貫通孔を備えていることを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、断面十字状であるバスケット構成材の交差部分に、このバスケット構成材の軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けてある。この貫通孔によって、斜め隣の使用済み燃料集合体に向かって透過する中性子の線量を抑制できる。また、バスケット全体の重量を軽減できる。なお、上記バスケットで奏される作用・効果も同時に奏されることは言うまでもない。

【0034】また、請求項19に係る使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、さらに、上記バスケットの外周部には、当該バスケットを構成する材料の母材であるA1を半溶融状態として伝熱板を接合したことを特徴とする。この使用済み燃料集合体格納用バスケットは、B-A1材で構成されたバスケットを半溶融状態として伝熱板を取り付けている。このため、BやB化合物が凝集することなく接合できるので、靱性劣化を最小限に抑えることができる。なお、上記バスケットで奏される作用・効果も同時に奏されることは言うまでもない。

【0035】この伝熱板は、バスケットの外周部に取り付けられるものであるが、バスケット外周部のみこの伝熱板と摩擦撓接合によって接合してバスケット構成してもよい。このようにすると、バスケット内のセルを構成する角状パイプやバスケット構成材等を接合しなくとも、伝熱板によってある程度バスケット全体を拘束することができる。これによって、バスケット全体を移動させる場合、例えば、キャスク本体胴に設けられたキャビティ内にバスケットを設置する場合等には、その作業を容易にできる。

【0036】また、請求項20に係る使用済み燃料集合

体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、上記B-A1材のB含有率は1.5重量%以上7.0重量%以下であることを特徴とする。このため、十分な中性子吸収能を発揮させつつ、十分な靱性を確保できる。また、B含有量が7重量%以下であるので、押出し成形加工も比較的容易にできるので、寸法の大きい角状パイプ構成部材やバスケット構成材を成形しやすい。さらに、母材であるA1を半溶融状態で接合して角状パイプやバスケットを構成しているので、靱性の劣化も最小限に抑えることができる。

【0037】また、請求項21に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケットは、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、上記B-A1材には少なくとも濃縮ボロンが添加されていることを特徴とする。天然ボロンには中性子の吸収に寄与するB<sup>10</sup>と中性子の吸収には寄与しないB<sup>11</sup>がある。中性子吸収能を有するB<sup>10</sup>を濃縮したものを使用すると、同じボロンの添加量であれば天然ボロンをそのまま使用した場合と比較してB<sup>10</sup>が多くなる分だけ中性子吸収能は高くできる。この使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいては、B-A1材にこの濃縮ボロンを使用している。このため、天然ボロンをそのまま使用した場合よりも薄い板厚の角状パイプあるいはバスケット構成材で、同じ中性子吸収能を得ることができるので、バスケットをより軽量かつコンパクトにできる。また、その分必要なキャスク胴本体のキャビティ空間を小さくできるので、胴本体をコンパクトにできる。

【0038】また、請求項22に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、B-A1材で作られた複数の部材同士を、当該部材の母材であるA1を半溶融状態として接合することを特徴とする。この接合においては、母材を溶融して接合する溶接と異なり、母材であるA1はシャーベット状の半溶融状態になってから接合する。このため、接合部の熱歪が小さく、接合後における修正の手間も少なくすむので製造に手間を要さない。また、母材であるA1が半溶融状態となって接合するので、分散粒子であるBやB化合物は凝固の際にはほとんど凝集しない。これによって、接合継ぎ手部においてはもとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持した角状パイプを製造できる。その結果、複数の部材を接合して角状パイプを製造できるので、これまで押出し成形が困難であったB-A1材でも、寸法の大きな角状パイプや、断面形状の複雑な角状パイプも製造できる。

【0039】また、請求項23に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、B



—A 1 材で作られた複数の部材同士を摩擦撹拌接合によって接合することを特徴とする。この製造方法においては、材料を溶融させないで接合する摩擦撹拌接合によって B—A 1 材のパイプ構成部材同士を接合する。このため、角状パイプの継ぎ手部においては、もとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持できる。これによって、これまで押出し成形が困難であった寸法の大きい粉体焼結 B—A 1 角状パイプ等を、複数の部材を接合することで製造できる。また、熱変形も小さいため、接合後の修正も軽微であり、製造の手間も軽減できる。

【0040】また、請求項 24 に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、B—A 1 材で作られた複数の部材同士を接合して使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットを製造するにあたり、前記部材の接合面と作業面とのなす角度が 90 度よりも大きい場合には、円錐状の胴部先端に円筒状の撹拌子を備えた接合ツールによって摩擦撹拌接合することを特徴とする。摩擦撹拌接合は、作業面が平面になっていないと接合しにくい。このため、作業面が谷状になっている場合には摩擦撹拌接合は適用しにくかった。このため、例えば図 16 (a) に示す角状パイプ 16 のような物は製造困難であった。しかし、この使用済み燃料集合体格納用角状パイプ等の製造方法は、円錐状の胴部を備えた接合ツールを使用することによって、作業面が谷状であっても接合できる。これによって、段部を設けることによって複雑な形状になった角状パイプも製造できる。

【0041】また、請求項 25 に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、さらに、接合対象である上記部材同士の接合部であって、胴部と撹拌子とからなる接合ツールの前記胴部が接する側とは反対側に、A 1 用ろう材または A 1 材を配置して、前記接合部を摩擦撹拌接合することを特徴とする。

【0042】摩擦撹拌接合時においては変形を抑えるために、接合対象である部材同士をバックアップ治具で支え、バックアップ治具の反対側から接合ツールで摩擦撹拌接合する。このため、接合ツールの撹拌子とバックアップ治具との干渉を避けるために、接合対象の部材厚さよりも接合ツールの撹拌子長さをやや短くする。したがって、接合ツールの撹拌子先端近傍、すなわち接合ツールの胴部と反対側における部材は、接合線が生ずる場合がある。この製造方法では、接合対象である部材同士を突き合わせた接合部であって、摩擦撹拌接合用の接合ツールの胴部が接する側とは反対側に、A 1 用ろう材等を配置して、摩擦撹拌接合する。摩擦撹拌接合の際には、この A 1 用ろう材が半溶融状態となった A 1 母材と一体となるので、バックアップ治具側における部材に発生する接合線を低減できる。その結果、より健全な接合部を得ることができるので、この方法によって製造される角

状パイプや使用済み燃料集合体格納用バスケットもより堅牢なものを得ることができる。なお、この場合には不活性ガス雰囲気中、特にアルゴンガス雰囲気中で接合すると、接合部の酸化を低減できるので、より健全な接合部を得ることができるので好ましい。

【0043】また、請求項 26 に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法において、さらに、上記部材は、粉体冶金法または溶製法によって中性子吸収に対する有効元素である B、および他の有効元素を A 1 母材中に分散含有させた B—A 1 のピレット材を押出し成形加工したことを特徴とする。

【0044】この製造方法では、粉体冶金や溶製法によって中性子吸収に対する有効元素である B、および強度付与に対する有効元素を A 1 母材中へ均一に分散させたピレット材を押出し成形した部材同士を、その母材である A 1 が半溶融の状態 で接合する。このため、一般の溶融池を生ずる溶接と異なり、B その他の有効元素が母材中へ均一に分散した状態を保ったまま接合できる。したがって、もとの材料の持つ特性を変化させないで接合できるので、難押出し材であっても押出し成形可能な大きさの部材を接合することで、より大きな使用済み燃料集合体格納用の角状パイプやバスケットを組み立てることができる。

【0045】また、請求項 27 に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法は、上記使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法において、さらに、上記他の有効元素は Ti、Zr、または Fe のうち少なくとも一つであることを特徴とする。

【0046】この製造方法では、高強度化に寄与する有効元素として Ti、Zr、または Fe のうち少なくとも一つを粉体冶金や溶製法によって A 1 母材中へ均一に分散させたピレット材を押出し成形した部材同士を、その母材である A 1 が半溶融の状態 で接合する。このため、一般の溶融池を生ずる溶接と異なり、B その他の有効元素が母材中へ均一に分散した状態を保ったまま接合できる。したがって、もとの材料の持つ高強度特性を変化させないで接合ができる。このため、上記元素を分散させた強度の高い難押出し材であっても、押出し成形可能な大きさの部材を接合することで、より大きな使用済み燃料集合体格納用の角状パイプやバスケットを組み立てることができる。なお、上記 Ti、Zr、または Fe は、高強度付与のため A 1 または A 1 合金中へ積極的に添加するものであり、A 1 合金製造中に自然に混入する不純物とは異なる。

【0047】また、請求項 28 に係る放射性物質格納容器は、上記使用済み燃料集合体格納用バスケットの外形に放射性物質格納容器本体のキャビティ内形状を合わせ

て当該バスケットを挿入し、前記格子内に使用済み燃料集合体を収納することを特徴とする。この放射性物質格納容器は、上記バスケットを収納しているので、PWR用使用済み燃料集合体を収納するキャスク等を比較的安価で容易に提供できる。また、上記バスケットは堅牢な構造であるので、衝撃や振動に強いキャスク等を提供できる。

#### 【0048】

【発明の実施の形態】以下、この発明につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施の形態における構成要素には、当業者が容易に想定できるもの或いは実質的に同一のものが含まれるものとする。

【0049】（実施の形態1）図1は、この発明の実施の形態1に係る角状パイプの軸方向に垂直な断面を表した断面図である。この角状パイプは、複数の粉体焼結B-A1押出し材を摩擦撹拌接合（FSW:Friction Stir Welding）によって接合し、且つ角状パイプの中心部に接合線が向かっている点に特徴がある。なお、以下に説明する角状パイプおよび使用済み燃料集合体格納用バスケットは主としてキャスクに使用するものであるが、これに限定されるものではない。キャスクの他キャニスタや使用済み燃料貯蔵プールのラックにも使用できる。

【0050】角状パイプ10は、粉体焼結B-A1のビレット材を押出し加工によってパイプ構成部材である板状材100（図1（b）参照）に成形し、この板状材100同士を摩擦撹拌接合によって接合して組み立てられている。なお、パイプ構成部材の製造方法については後述する。ここで、この角状パイプ10の側壁には、中性子の透過を抑制するために、角状パイプ10の軸方向に貫くフラックスストラップ10cが設けられている。このフラックスストラップ10cは、1側壁につき2室設けられているがこれに限定されるものではなく3室や4室としてもよい。ここでは、現状における使用済み燃料の寸法から、2室構造としてある。

【0051】つぎに板状材100の接合手順を説明する。図2は、板状材を摩擦撹拌接合によって接合する様子を示す説明図である。板状材100は治具200によって固定されており、両者の接合面同士が突合されている。また、板状材100の内壁側はバックアップ治具201によって支えられており、接合時の変形を抑えるようになっている。

【0052】ここで、この角状パイプ10においては接合面に垂直な面、すなわち斜め隣の角状パイプと当接する面10a（図1（a）参照）を作業面というものとする。なお、作業面は、つぎに説明する接合ツール210の胴部212と接触する面である（以下同様）。そして、この角状パイプ10においては、接合面と作業面とのなす角度 $\theta$ が90度となっている。図3は、摩擦撹拌接合に使用する接合ツールを示す説明図である。接合ツ

ール210は、胴部212と撹拌子214とで構成されている。そして、胴部212をモータ等（図示せず）によって回転させることによって、撹拌子214も胴部212とともに回転する。撹拌子214の有効長さx（図3（b）参照）は接合深さに応じて任意に選択することができ、この例では板状材100同士の接合部における厚さh（図1（a）参照）よりやや長い程度である。ただし、この場合には、接合ツール210の移動とともにバックアップ治具201が移動するか、バックアップ治具210と板状材100との間に撹拌子214が突き出る隙間を設けておく必要がある。

【0053】接合ツール210を回転させながら板状材100の接合部100aに押し込んでいくと、摩擦によって板状材100の温度が上昇する。そして、板状材100の温度が約400℃まで上昇すると板状材100の内部組織は変形抵抗を失う。この状態になると、接合ツール210の胴部212および撹拌子214の回転方向に合わせて塑性流動が起こり、板状材100同士の組織が撹拌される。このとき、B-A1の板状材100は塑性流動を生ずるものの、溶解はしていない。接合ツール210による組織の撹拌が終了して板状材100の接合部100aが冷却すると、撹拌された組織が一体化して摩擦撹拌接合による接合が終了する。

【0054】このようにして二枚の板状材100同士を摩擦撹拌接合によって接合し、L字状の部材100bを製造する。つぎに、治具202によってL字状の部材100b同士を向かい合わせて固定する。そして、接合ツール210によって、L字状の部材100bの接合部100aを摩擦撹拌接合によって接合する（図2（b）参照）。この接合部100aを接合したら、一旦治具202からL字状の部材100bを取り外し、まだ接合していない方の接合部100aを接合ツール210側に向けて治具202に固定する。この後は、同様の手順によって接合部100aを接合ツール210によって接合し、角状パイプ10（図1参照）が完成する。なお、この角状パイプ10を千鳥状に配置してバスケットを構成するときに、斜め隣の角状パイプと当接する面10a（図1（a）参照）は、仕上がり具合に応じて切削加工等によって仕上げてよい。

【0055】図4は、板状材を摩擦撹拌接合によって接合する他の方法を示す説明図である。この接合方法は、接合対象である部材同士を突き合わせた接合部であって、摩擦撹拌接合用の接合ツールの胴部が接する側とは反対側に、A1用ろう材等を配置して、摩擦撹拌接合する点に特徴がある。図4（a）に示すように、摩擦撹拌接合時には接合対象の変形を抑えるために、接合対象である板状材100同士をバックアップ201治具で支え、バックアップ治具201の反対側から接合ツール210で摩擦撹拌接合する。このため、接合ツール210の撹拌子214とバックアップ治具との干渉を避け

るために、接合対象の接合深さ $h$ よりも接合ツール210の攪拌子214の長さ $x$ をやや短くする。これによって、攪拌子214の先端近傍、すなわち接合ツール210の胴部212と反対側における板状材100の接合部分は、 $h-x$ だけ攪拌子214が到達しない部分が生ずる。このため、A1母材が十分に攪拌されず接合線が生ずる場合がある。

【0056】この接合方法においては、図4(a)に示すように、板状材100は接合面同士が突合される形で、治具200およびバックアップ治具201によって固定されている。そして、接合ツール210の胴部212が接する板状材100の面10a、すなわち作業面である面10a側とは反対側の接合部に、箔状のA1用ろう材150が二枚の板状材100で挟み込まれて配置されている(図4(a))。

【0057】配置の方法は、図4(a)に示すように板状材100の接合面で挟み込む方法や、同図(c)に示すようにバックアップ治具201と板状材100との間にA1用ろう材151を配置する方法がある。また、図示はしないが、図4(a)および(b)に示したA1用ろう材150の位置に、粉末状にしたA1用ろう材をバインダ等に溶いて塗工してもよい。また、この例においては箔状のA1用ろう材150を用いたが、A1用ろう材の形状はこれに限定されるものではなく、例えば線状のA1用ろう材も使用できる。さらに、A1用ろう材150等の代わりに、A1シート、A1箔、A1線あるいはA1粉を使用することもできる。

【0058】接合ツール210によって摩擦攪拌接合を開始すると、摩擦熱によってA1用ろう材の箔150も板状材100のA1母材とともにシャーベット状になってA1母材と一体になる。なお、接合ツールは図4

(b)に示す矢印Z方向に進む。A1用ろう材150を使用しない場合には、摩擦攪拌接合が終了すると二枚の板状材100で構成された角部内側10bには接合線が残ることがあった。しかし、この製造方法によれば、A1用ろう材150が接合時にシャーベット状となって板状材100の母材と一体となって接合線を塞ぐので、バックアップ治具210側である角部内側10bには接合線がほとんど発生しなくなる。

【0059】その結果、接合線が少ない健全性の高い角状パイプ10(図1参照)を得ることができる。また、後述するように、複数の部材を組み合わせて使用済み燃料集合体を収納するバスケットを作ることできるが、その際にこの接合方法を適用すれば、溶接船の少ない堅牢なバスケットを作ることができる。また、攪拌子214の長さ $x$ が接合対象の板状材100の接合深さ $h$ よりも小さいので、接合ツール210の回転トルクも少なくでき、送り速度も速くできる。その結果、より少ないエネルギーで高速に接合できる。さらに、攪拌子214は二枚の板状材100で構成された角部内側10bの内側

へ突き出ることはない。このため、バックアップ治具201の角部外形を当該角部内側10bの形状と合わせて、寸法精度を高くすることができる。これによって、接合後の機械加工が不要になるので、角状パイプ10を製造する手間を軽減できる。なお、この接合方法を適用する場合には、不活性ガス雰囲気中、特にアルゴンガス雰囲気中で接合すると、接合部100aの酸化を低減できるので、より健全な接合部100aを得ることができるので好ましい。

【0060】B-A1合金は、硬度の高いB化合物を含むため、押出し加工によって上記角状パイプ10を製造すると、押出しダイスが摩耗しやすく、長い距離を押出した場合には押出し初期と同程度の寸法精度を保つことが困難である。また、押出しに要する推力も硬度の高いB化合物を使用する分だけ大きくなる。特に、加工対象である角状パイプ10の寸法が大きくなると押出しダイスの表面積が大きくなるので、押出し加工に要する推力はより大きくなる。これらの理由から、製品の寸法が大きくなるほど押出し加工は困難になる。

【0061】この発明の実施の形態1に係る角状パイプ10は、複数のB-A1板材を摩擦攪拌接合によって接合する。押出し加工による製造が困難になる程角状パイプ10の寸法が大きくなっても、角状パイプ10を構成する板状材100は押出し加工によって製造できる。したがって、この方法によれば、寸法が大きく、ピレットの押出し加工によっては製造ができない角状パイプ10であっても製造できる。

【0062】また、この角状パイプ10はB-A1の粉体焼結ピレットを押出し成形した成形体で作られているが、粉体焼結材同士の結合においては母材であるA1を溶かさずに成形することが重要である。ここで、一般に溶融池ができる溶接は母材同士を溶かして接合するため、B-A1の粉体焼結材に適用すると、凝固の際に母材中に分散しているBやB化合物が凝集してしまう。このため、溶接継ぎ手部は、BやB化合物等の均一な分散によって得られていたもとの材料が持つ性質が変化してしまう。その結果、中性子吸収能および機械的強度(特に靱性)が低下して、使用済み燃料集合体を収納する部材としての性能を発揮できなくなってしまう。そして、溶製法によって製造したピレットを押出し成形した部材でも同様の問題を有している。

【0063】ここで、摩擦攪拌接合は摩擦熱によって接合対象である母材の組織内部を攪拌して一体化させることで、母材同士を接合する。このように、母材を溶かさず、半溶融状態で接合するため、一般的な溶融池を生ずる溶接とは異なり、熱影響による接合部周辺の強度低下が極めて小さいという特長がある。したがって、摩擦攪拌接合においては接合継ぎ手部の機械的性質はほとんど変化しない。このため、B-A1の粉体焼結材を接合しても、接合継ぎ手部における中性子吸収能および機械的

性質は母材とほとんど変化しない。したがって、板状材100を接合して角状パイプ10を製造しても、使用済み燃料集合体を収納する部材としての性能はほとんど変化しない。

【0064】さらに、摩擦撚拌接合では母材の融点よりも低い温度で接合するため、母材の融点以上まで加熱する溶接とは異なり、熱の影響を小さくできる。このため、熱変形を非常に小さくできる。ここで、使用済み燃料集合体を収納する角状パイプ10は、軸方向に垂直な断面寸法に対して軸方向に平行な方向の寸法が極めて大きい物である。このような物を一般的な溶融池を生ずる溶接によって接合すると、軸方向に対して反ってしまうが、摩擦撚拌接合によればこのような変形はほとんど発生しない。板状材100を摩擦撚拌接合によって接合し角状パイプ10を製造した場合には、寸法精度の高い角状パイプ10を製造できるので、接合後の修正をほとんど要さず、製造の手間を低減できる。

【0065】粉体焼結B-A1材の場合でも、溶製法によるB-A1材の場合でも、上述した作用・効果は奏する。ここで、粉体焼結B-A1材は母材であるA1を溶かさないで製造するものであり、溶製法と比較してより多くのB等の分散粒子を均一に母材中へ分散させることができる。このため、溶融に起因するB等の凝集による性能劣化は、溶製法によるものよりも、より顕著に表れることになる。溶融池を作らずに母材を半溶融状態で接合できる摩擦撚拌接合であれば、加熱あるいは溶融による性能劣化を最小限に抑えて接合できる。したがって、性能劣化を抑える効果も、粉体焼結B-A1材の方が溶製法によるB-A1材より大きく表れる。このように、母材を半溶融状態で接合できる摩擦撚拌接合は、粉体焼結B-A1材の接合に適するものである。

【0066】なお、板状材100の接合には摩擦撚拌接合が好適であるが、この他にも接合部100aを溶かさないで、半溶融状態で接合できる方法であれば、B-A1成形材の性質を損なわずに角状パイプ10を組み立てることができる。このような接合方法としては、例えば、先行するレーザーヘッドによって撚拌子214の直前にレーザーを照射し、母材であるA1を半溶融直前の状態にして、その後を撚拌子214によって撚拌接合する方法がある。この場合には、レーザーを照射しない場合よりも撚拌子の送り速度を高速にできるので、より短時間で製品を製造することができる。

【0067】また、上記説明においては、複数の板状材100の長手方向すべてにわたり、摩擦撚拌接合によって接合することで角状パイプ10を構成していた。ここで、角状パイプ10は内部に崩壊熱を発生する使用済み燃料集合体を収納するため、角状パイプ10にはこの崩壊熱を効率よく外部に伝える伝熱性能が要求される。また、落下の衝撃等に耐え得るだけの強度も角状パイプ10には要求される。このような伝熱性能および強度が十

分許容されるのであれば、板状材100の長手方向すべてにわたって接合する必要はなく、例えば一定間隔をあけて短い接合長さの摩擦撚拌接合を繰り返す、いわゆるタップ接合としてもよい。さらには、タップ接合の一例として、板状材100の両端のみを摩擦撚拌接合によって接合してもよい。以下の例でも同様である。

【0068】（第一変形例）図5は、実施の形態1の第一変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この変形例に係る角状パイプ11は、実施の形態1に係る上記角状パイプ10（図1参照）と略同様であるが、角状パイプ11の内側角部11cに、角状パイプ11の軸方向に向かうU字状の溝11aを設けた点に特徴がある。その他の構成は実施の形態1と同様なのでその説明を省略するとともに、同一の構成要素には同一の符号を付する。

【0069】図5（c）に示すように、板状材101の接合部101aは、その角部内側に軸方向へ向かう溝101cが形成されている。そして、複数の板状材101を組み合わせて角状パイプ11を構成すると、角状パイプ11の角部内側には軸方向に向かう溝11aが形成される（図5（a）および（b）参照）。ここで、軸方向とは図5の紙面に垂直な方向である。なお、板状材101同士は摩擦撚拌接合によって接合されるが、この接合方法については実施の形態1に示した方法がそのまま適用できるので、説明を省略する。

【0070】接合ツール210の撚拌子214の長さx（図3（b）参照）が十分に確保できない場合には、板状材101の接合部101aに接合されない部分（図5（d）中A）が発生する。そして、接合されない部分と接合部分との境目に応力集中が生じて、角状パイプ11の損傷を招くおそれがある。この角状パイプ11では、図5（a）および（b）に示すように、内側角部11cに形成されているU字状の溝11aの内側まで接合されるようになっている。このため、U字状の溝11aの曲面で角状パイプ11の角部に生ずる応力集中を緩和できる。これによって、角状パイプ11が損傷等する危険性を低減して、健全な角状パイプ11を提供できる。なお、この溝11aの断面は少なくとも弧を有する形状であって、且つ上記接合線がこの弧に接するようにしてあればよい。

【0071】角状パイプ11内部に収納される使用済み燃料集合体が発生する崩壊熱は、角状パイプ11を伝わって、キャスク等（図示せず）の外部へ放出される。このため、角状パイプ11は、できるだけ伝熱性能を高くする必要がある。ここで、角状パイプ11の接合部における伝熱性能は、接合部の面積が大きい方が高くなる。このため、接合部の伝熱性能をできるだけ低下させないように、U字状の溝11aの深さh-h<sub>1</sub>（図5（b））は、接合ツール210の撚拌子214（図3（b））の長さが確保できる範囲で、できるだけ小さく

することが望ましい。

【0072】(第二変形例)図6は、実施の形態1の第二変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この変形例に係る角状パイプ12は、実施の形態1に係る上記角状パイプ10等(図1等参照)と略同様であるが、軸方向に垂直な断面がL字状のL形部材102を2個摩擦撓接合によって接合して構成する点が異なる。その他の構成は実施の形態1と同様なのでその説明を省略するとともに、同一の構成要素には同一の符号を付する。

【0073】図6(a)に示すように、角状パイプ12は、L形部材102の接合部102a同士が摩擦撓接合によって接合されて製造されている。また、図6

(b)に示すように、軸方向に垂直な断面がコ字形をした部材102bと、板状の部材102cとを組み合わせ、角状パイプ12aが構成されている。これらの角状パイプ12および12aは、実施の形態1に係る角状パイプ10(図1参照)と比較して接合部が半分になるため、それだけ容易に製造できる。また、強度も接合部が少ない分だけ高くできるので、バスケットを組み立てた場合にはより堅牢なバスケットを構成することができる。なお、実施の形態1に係る角状パイプ10と比較して部品の分割数が少ないため、角状パイプの寸法が比較的小さい場合に適する。

【0074】なお、第一変形例に係る角状パイプ11

(図5参照)のように、角状パイプ12等の内側角部であって、L形部材102等を接合する部分に、角状パイプ12等の軸方向に向かう断面U字状の溝部を設けてもよい。このようにすると、接合部の応力集中を低減してより堅牢な角状パイプを製造できるので、より落下等の衝撃に強い堅牢なバスケットを構成できる。

【0075】(実施の形態2)図7は、この発明の実施の形態2に係る角状パイプを示す断面図である。この角状パイプ13は、パイプ構成部材である複数の板状材103を摩擦撓接合によって接合し、且つ角部外側に斜め隣の角状パイプとかみ合う段部13aを備えている点に特徴がある。つぎに、この角状パイプ13の製造方法について説明する。図7に示すように、この角状パイプ13は短手方向の両端が階段状に形成された板状材103を4枚組み合わせ、接合部103aを摩擦撓接合によって接合することで構成されている。

【0076】図8は、実施の形態2に係る角状パイプの製造方法を示す説明図である。同図に示すように、治具203によって板状材103の接合面同士が付き合わされるように固定し、さらに板状材103の内側からはバックアップ治具204によって接合時の変形を抑えるようになっている。つぎに、接合ツール210を回転させながら板状材103の接合部103a(図7(a))に押し込んで、板状材103同士を接合する。接合が終了したら治具203およびバックアップ治具204から接合した板状材103を取り外し、90度向きを変えて同

様にもう一つの板状材103を接合する。そして、4枚の板状材103を接合して、角状パイプ13が完成する。なお、板状材103の長手方向すべてにわたって接合しなくともよく、例えば板状材103の両端のみを接合して角状パイプ13を構成してもよい。このようにすると、接合部分が少なくなるのでより容易に角状パイプ13を製造できる(以下同様)。

【0077】図9は、この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。また、図10は、実施の形態2に係る角状パイプを主としてBWR使用済み燃料集合体を収納するバスケットに適用した例を示す説明図である。図9および10に示すように、このバスケット50および50'を構成する角状パイプ13および13'は、これらの角部に形成された段部13aおよび13a'が、斜め隣に配置されている角状パイプ13等の角部に形成された段部13a等とかみ合うように配置される。このため、組み立てが容易で、また、角状パイプ13等同士の動きがお互いに拘束されるのでバスケット50等全体も堅牢になり、衝撃に強い信頼性の高いバスケット50等を構成できる。

【0078】また、隣り合う角状パイプ13等同士の角部が接する面積は、段部13a等がない場合よりも大きくできるので、角状パイプ13等同士の伝熱面積を大きくできる。これによってバスケット50等全体の伝熱性能を高くできるので、より効率的に使用済み燃料の崩壊熱をバスケット50等の外部へ逃がすことができる。また、バスケット50の外周には伝熱板50aが設けられているが、この伝熱板50aを摩擦撓接合によってバスケット50に接合してもよい。このようにするとより伝熱性能が向上するので好ましい。なお、伝熱性能が十分担保できる場合には、接合しなくともよい(以下同様)。

【0079】さらに、バスケット50等を構成する場合には、角状パイプ13等の両端部のみを摩擦撓接合によって接合してもよい。このようにすると、角状パイプ13等の動きが拘束されるので、バスケット50等を組み立てやすくなる。また、両端部をみの接合なので、接合作業も比較的容易である。また、上記伝熱板50aによって、バスケット50等の外周部のみ摩擦撓接合してバスケット50等を構成してもよい。このようにすると、外周部で内部の角状パイプ13等のある程度拘束できるので、組み立てが容易になる。また、キャスク本体胴のキャビティ内にバスケット50等を設置する作業も容易にできる。以下の例においても同様である。

【0080】(第一変形例)図11は、実施の形態2の第一変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この角状パイプ14は、軸方向に垂直な断面内において、板状材104同士の接合線104aがこの断面内における対角線の交点に対して角度 $\beta$ を有している。そして、角



状パイプ 14 の角部には、角状パイプ 14 を千鳥状に配置した際に斜め隣に配置される角状パイプ 14 の角部を係止する段部 14 a が形成されている点に特徴がある。この角状パイプ 14 の角部に形成される平面（作業面）と接合線 104 a とのなす角  $\theta$  は 90 度である点で、実施の形態 1 に係る角状パイプ 10（図 1 参照）と共通する。このため、この角状パイプ 14 は実施の形態 1 に係る角状パイプ 10 と同様の製造方法で製造できるので、角状パイプ 14 の製造方法についてはその説明を省略する。

【0081】図 12 は、この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。同図に示すように、このバスケット 51 は、千鳥状に配置された角状パイプ 14 の角部同士が当接している。さらに一方の角状パイプ 14 の角部に設けられた段部 14 a によって、もう一方の角状パイプ 14 の動きを規制する。このように、段部 14 a によって角状パイプ 14 の動きを規制できるので、落下等の衝撃による角状パイプ 14 のずれを抑えることができる。これによって、信頼性の高いバスケット 51 を構成することができる。なお BWR 用の使用済み燃料集合体を収納するときにも同様バスケット構成をとることができる。なお、この角状パイプ 14 は、実施の形態 1 に係る角状パイプ 10（図 1（a）参照）とは異なり、軸方向に垂直な断面内において、接合線（図 11（a）中 104 a が示す線）は対角線（図 11（a）中の一点鎖線）と一定の角度  $\beta$  をなしている。

【0082】（第二変形例）図 13 は、実施の形態 2 の第二変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この角状パイプ 15 は、上記第二変形例に係る角状パイプと略同様の構成であるが、斜め隣に配置された角状パイプ 15 の角部を係止する段部 15 a を複数設けた点が異なる。その他の構成は上記第一変形例と同様なのでその説明を省略するとともに、同一の構成要素には同一の符号を付する。

【0083】図 14 は、この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。同図に示すように、このバスケット 52 は、千鳥状に配置された角状パイプ 15 の角部同士が当接している。さらに一方の角状パイプ 15 の角部に設けられた二つの段部 15 a によって、もう一方の角状パイプ 15 の動きを規制する。このように、複数（この例では二つ）の段部 15 a によって角状パイプ 15 の動きを規制できるので、X および Y 方向に対して角状パイプ 15 の動きを規制できる。このため、上記第一変形例に係る角状パイプ 14 よりも、落下等の衝撃によるずれをさらに抑えることができる。これによって、さらに信頼性の高いバスケット 52 を構成することができる。また、X および Y 方向に対して角状パイプ 15 の動きを規制できるので、バスケット 52 の組み立

てもより容易になる。

【0084】図 15 は、主として BWR 用の使用済み燃料集合体を収納するバスケットに第二変形例に係る角状パイプを適用した例を示す説明図である。この図に示すように、BWR 用の使用済み燃料であっても、この変形例に係る角状パイプを適用できる。このときには、フラックストラップ 15 b（図 13（a）参照）が不要になるので、図 15 に示すような角状パイプ 15' となる。この場合も、落下等の衝撃によるずれを抑えた堅牢なバスケット 52' を提供できる。なお、このバスケット 52' は、設計次第で PWR に使用することも可能である。

【0085】（第三変形例）図 16 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この角状パイプ 16 は、複数の板状材を摩擦撓接合によって接合し、且つ角部外側に斜め隣の角状パイプとかみ合う段部 16 a を複数設けている。さらに、この角状パイプ 16 の軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が同じ断面内における対角線と角度  $\beta_1$  をもって傾いている点に特徴がある。つぎに、この角状パイプ 16 の製造方法について説明する。図 17 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプの製造方法を示す説明図である。

【0086】この角状パイプ 16 は、軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、当該断面内における対角線と一定の角度を持っており、且つ角部には段部 16 a が複数設けられている。そして、この段部 16 a によって角部には谷状の部分が存在し平面が構成されないため、これまで説明した角状パイプを接合した接合ツール 210（図 3 参照）は使用できない。このため、図 17（c）に示すような接合ツール 211 を使用する。この接合ツール 211 は、胴部 213 の円錐状をした頂部に撓拌子 215 が設けられている。なお、この接合ツール 211 は、作業面が谷状をしている対象物に対して摩擦撓接合する際に適用するものである。

【0087】この胴部 213 の角度  $\alpha$  は、角状パイプ 16 の角部における角度  $\beta$  と略等しくしてある。これによって、接合ツール 211 の胴部 213 が板状材 106 と接触して摩擦熱を発生し、接合ツール 211 を板状材 106 の長手方向へ押し込むことで摩擦撓接合が進行する。そして、4 枚の板状材 106 を接合して、角状パイプ 16 を製造する。ここで、この角状パイプ 16 は、実施の形態 1 に係る角状パイプ 10（図 1（a）参照）とは異なり、軸方向に垂直な断面内における角部の接合線 16 b の向かう方向が、当該断面内における対角線 16 c に対して角度  $\beta_1$  をもっている（図 16（a）参照）。このように、角度  $\beta_1$  を持たせることで、板状材 106 同士の接合面における面積をより大きくできる。そして、この接合面の面積が大きいとそれだけ接合強度を大きくでき、また伝熱面積も大きくできるのでより好

ましい。なお、接合線 16b の向かう方向は、板状材 106 の短手方向における端部形状によって角状パイプ 16 の軸方向に垂直な断面内における対角線 16c と一致させることもできる。

【0088】図 18 は、実施の形態 2 の第三変形例に係るバスケットを示す説明図である。このバスケット 53 は、角状パイプ 16 の角部に設けられた段部 16a が、斜め隣に配置された角状パイプ 16 の段部とかみ合っている。角部に設けられた段部 16a は複数（この例では三個）であるので、段部が二個ある実施の形態 2 に係るバスケット 52（図 14 参照）と比較して、角部の接触面積を大きくできる。これによって、伝熱面積を大きくできるので、より効率的に使用済み燃料の崩壊熱を外部に伝えることができる。また、角状パイプ 16 同士は複数の段部でかみ合っているため、一段の段部でかみ合うよりもずれに対して強い。このため、角状パイプ 16 を所定の位置に保ちやすくなるので、より堅牢なバスケットを提供できる。図 19 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプをバスケットに適用した他の例を示す説明図である。この図に示すように、BWR 用の使用済み燃料であっても、この変形例に係る角状パイプを適用できる。

【0089】上記角状パイプ 16 の角部に形成された段部の角度  $\beta$  は鋭角であるが、 $\beta$  の大きさはこれに限定されるものではない。図 20 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプの他の例を示す断面図である。同図に示すように、例えば、角状パイプ 16e のように、角部の角度  $\beta$  を直角にしてもよいし、あるいは同図 (b) に示す角状パイプ 16f のように鈍角としてもよい。 $\beta$  を鈍角にするには、接合ツール 211 の胴部 213 の角度  $\alpha$ （図 17 (c) 参照）を鈍角にして接合すればよい。また、胴部 213 の角度  $\alpha$  は鋭角として、摩擦撓接合による接合後に切削加工等によって成形してもよい。

【0090】図 21 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る他のバスケットを示す説明図である。なお、この図は  $\beta$  が直角である場合の角状パイプ 16e によってバスケット 53e を構成したものである。 $\beta$  を直角または鈍角にすると、 $\beta$  が鋭角の場合よりも角状パイプ 16e 等のずれに対してやや弱くなる。しかし、バスケット 53e を組み立てやすくなるので、バスケット 53e の生産性を向上できる。また、図 22 は、実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプをバスケットに適用した他の例を示す説明図である。この図に示すように、BWR 用の使用済み燃料であっても、この変形例に係る角状パイプを適用できる。

【0091】（実施の形態 3）図 23 は、この発明の実施の形態 3 に係る角状パイプを示す断面図である。この角状パイプ 17 は、角状パイプ 17 を構成する複数の L 形部材 107 を、当該角状パイプ 17 の側面において摩

擦撓接合によって接合する点に特徴がある。図 24 は、実施の形態 3 に係る角状パイプの製造方法を示した説明図である。この角状パイプ 17 は、軸方向に垂直な断面が L 字形状をした L 形部材 107 を 4 個組み合わせ、接合部 107a を摩擦撓接合によって接合することで構成されている。なお、この角状パイプ 17 は、角部に平面が形成された形状を例にとって説明するが、角部形状はこれに限定されるものではない。上記実施の形態 1 および 2 で説明した角状パイプの形状が適用できる。

【0092】治具 205 によって、2 個の L 形部材 107 が両者の接合部 107a（図 24 (b) 参照）同士を突き合わせて固定されている。また、L 形部材 107 の内壁側はバックアップ部材 206 によって支えられており、接合時の変形を抑えるようになっている。つぎに、接合ツール 210 を回転させながら L 形部材 107 の接合部 107a に押し込んでいき、L 形部材 107 同士を接合する。

【0093】つぎに、治具 205 によって、2 個の L 形部材 107 を接合して製造したコの字状の部材を、その開口部側同士を向かい合わせて固定する。また、当該コの字状の部材は、バックアップ部材（図示せず）によって内側から支えられている。この状態で、接合ツール 210 によって、コの字状部材の一部である L 形部材 107 の接合面 107a 同士を摩擦撓接合によって接合する。同様に、まだ接合されていない L 形部材 107 の接合面 107a 同士を接合ツール 210 によって接合し、角状パイプ 17（図 23 参照）が完成する。なお、L 形部材 107 の長手方向すべてにわたって接合しなくともよく、例えば当該部材の両端のみを接合してもよい。このようにすると、接合部分が少なくなるので、角状パイプ 107 をより容易に製造できる。

【0094】この角状パイプ 17 は、その側面で L 形部材 107 同士を接合するので、実施の形態 1 に係る角状パイプ 10 のように角部で接合するよりも容易に製造できる。また、角状パイプ 17 を千鳥状に配列して使用済み燃料集合体を収納するバスケット（図示せず）を組み立てた場合には、角状パイプ 17 の側面における接合部と荷重の集中する角部とが重ならないので、より堅牢なバスケットを構成できる。なお、この角状パイプ 17 は実施の形態 1 に係る角状パイプ 10 と同様に、複数の L 形部材 107 を摩擦撓接合によって接合して製造する。このため、押出し成形によって一体成形できない程大きい角状パイプであっても製造できる。

【0095】ここで、角状パイプ 17 は PWR 用であり、図 23 に示すように側壁にフラックストラップ 17c を設けてあるが、摩擦撓接合で接合するために接合部となるリブ 17L の厚みがある程度大きくする必要があるので、このため、フラックストラップ 17c は実施の形態 1 等に係る角状パイプ 10 等よりも小さくなる。ただ

し、図 23 (c) に示すような、主として BWR 用使用済み燃料集合体を収納するために使用される角状パイプ 17' であればフラックストラップ 17c は不要であるため、この方式の利点を十分に生かすことができるため好ましい。

【0096】(変形例) 図 25 は、実施の形態 3 の変形例に係る角状パイプを示す断面図である。この変形例に係る角状パイプ 17b は、実施の形態 3 に係る上記角状パイプ 17 (図 23 参照) と略同様であるが、断面がコの字形の部材 107b 同士を組み合わせた点異なる。その他の構成は実施の形態 1 と同様なのでその説明を省略するとともに、同一の構成要素には同一の符号を付する。

【0097】この角状パイプ 17b は、断面コの字形の部材 107b 同士をその開口部同士を向かい合わせ、接合部 107d を摩擦撓接合によって接合して製造する。この角状パイプ 17b も、実施の形態 3 に係る角状パイプ 17 と同様に、角状パイプ 17b の側面で部材 107b を接合している。このため、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた場合には、荷重の集中する角部と接合部とが重ならないので、より堅牢なバスケットを構成できる。なお、この角状パイプ 17b は、実施の形態 3 に係る角状パイプ 17 よりも分割数が少ないため、角状パイプ 17b の寸法が比較的小さい場合に適する。

【0098】(実施の形態 4) 図 26 は、実施の形態 4 に係る使用済み燃料集合体を収納するバスケットの一部を示す説明図である。このバスケット 54 は、複数の部材を摩擦撓接合によって接合して製造した軸方向に垂直な断面が十字形状をしたバスケット構成材 18 を組み合わせて構成する点に特徴がある。図 27 は、実施の形態 4 に係るバスケットを構成するバスケット構成材を示す断面図である。図 27 (a) に示すように、このバスケット構成材 18 は、二種類の板状材 108a および 108b を二枚づつ使用し、これらを摩擦撓接合によって接合して製造される。そして、板状材 108a および 108b は、短手方向の一方の側面における断面形状が、頂角 90 度の三角形形状となっている (図 27 (b) および (c) 参照)。なお、図 26 に示したバスケット 54 は主として PWR 用の使用済み燃料集合体を収納するため、バスケット構成材 18 で囲まれるセル 54c の側壁を軸方向 (図 26 中紙面に垂直な方向) に貫く孔が設けられている。BWR 用に適用する場合には、中実の板状材 (図示せず) によってバスケット構成材を製造する。

【0099】図 28 は、実施の形態 4 に係る板状材を摩擦撓接合によって接合する方法を示す説明図である。二枚の板状材 108a は、一方の側面同士が円錐状の胴部 213 を持つ接合ツール 211 によって摩擦撓接合される。接合の際には、治具 207 によって板状材 10

8a が拘束される。なお、前記接合ツール 211 の胴部 213 における頂角  $\alpha$  は 90 度である。そして、順次四枚の板状材 108a および 108b を接合して、バスケット構成材 18 (図 27 参照) が完成する。なお、板状材 108a 等の長手方向すべてにわたって接合しなくともよく、例えば、板状材 108a の両端のみを接合するようにしてもよい。このようにすると、接合部分が少なくなるので、より容易にバスケット構成材 18 を製造できる。バスケット 54 を組み立てる際には、バスケット構成材 18 の端部が隣り合うバスケット構成材 18 の端部と組み合わさって、使用済み燃料集合体を格納するセル 54c が形成される。ここで、バスケット構成材 18 の端部には、凸部 18a とこの凸部 18a がはまる凹部 18b とが順に設けられている。そして、バスケット 54 を組み立てる際には、これらの凸部 18a と凹部 18b とがはまり合うようになっている。

【0100】このバスケット 54 は、荷重の集中する十字状断面の交差部分 18c を摩擦撓接合によって接合している。このため、上記実施の形態で説明した角状パイプ 10 等 (図 1 等参照) を千鳥状に配置したバスケットと比較して、この部分の強度が高い。したがって、落下の衝撃や振動等に対してもより強いので、堅牢なバスケット 54 を作ることができる。また、接合部の 18c' あるいは 18c'' の少なくとも一方を摩擦撓接合によって接合してもよい。こうすると、より堅牢なバスケット 54 を作ることができる。なお、バスケット構成材 18 の長手方向すべてにわたって接合しなくともよい。例えば、バスケット構成材 18 の両端部のみを接合して、製造を容易にしてもよい。

【0101】ここで、板状材 108 同士の接合部について説明する。図 29 は、実施の形態 4 に係るバスケット構成材を構成する板状材同士の接合部の一例を示す説明図である。同図 (a) は、図 27 (a) に示したバスケット構成材 18 と同じものである。同図 (b) ~ (d) に示すように、十字状断面の交差部分 18c である接合部には、バスケット構成材 18c の軸方向に貫通する貫通孔 18h-1 ~ 18h-3 を設けてもよい。このときには、板状材 108 の短手方向における側面には、板状材 108 の長手方向に向かう溝が設けられることになる。このようにすると、貫通孔 18h-1 等をフラックストラップとして利用できるため、斜め隣のセルへ透過する中性子量をここで低減できるので好ましい。ここで、摩擦撓接合は、溶接と比較して接合部の変形やビードの形成は極めて少ないため、この貫通孔 18h-1 等を設けなくとも寸法精度は高いものを得ることができる。しかし、この貫通孔 18h-1 等を設けると、撓接ツール 210 (図 3 参照) の送り速度を速くできるので、さらに寸法精度の高いバスケット構成材を得ることができる。

【0102】つぎに、それぞれの接合部について説明す

る。図 29 (a) に示す接合部は最も伝熱面積が大きいので、使用済み燃料の崩壊熱を最も効率的に外部へ伝えることができる。その反面、接合の際には接合ツールの送り速度を低くしないと、十分に接合できない。同図

(b) に示す接合部は、接合ツールの攪拌子先端部が自由になるので、同図 (a) に示した接合部よりも送り速度を速くできる。同図 (c) に示した接合部は、伝熱面積は小さくなるが、接合時における歪を小さくでき、また、応力集中も起こりにくい。同図 (d) に示した接合部も伝熱面積は小さくなるが、接合時における歪を小さくでき、また、応力集中も起こりにくい。さらに、貫通孔 18h-3 の断面積を大きくできるので、フラックストラップを大きくできる。その結果、中性子の通過をより低減できる。

【0103】図 30 は、実施の形態 4 に係るバスケット構成材を構成する板状材同士を接合する部分の他の例を示す説明図である。同図 (a) および (b) に示すように、板状材 108 の短手方向における側面部は、断面形状が段状となっている。そして、バスケット構成材として組み立てたときには、十字状断面の交差部分で板状材 108 同士がかみ合うようになっている。このため、板状材 108 同士を組み合わせやすく、摩擦攪拌接合によって接合する際にもずれにくくなるので、バスケット構成材を組み立てる手間を低減できる。なお、図中ハッチングの部分が、摩擦攪拌接合によって接合した部分である。同図 (a) の接合部は、角度が 90 度以下の鋭角部分を持たないので、板状材 108 の押出し成形が比較的容易である。同図 (b) に示す接合部はかみ合い部を有しているので、衝撃や振動等に起因するずれに対してより強くなる。

【0104】なお、上記バスケット構成材 18 は複数の板状材 108 等を摩擦攪拌接合によって接合して製造した。バスケット構成材 18 の寸法が小さい場合や、主として BWR 用の使用済み燃料集合体格納用に使われるセル壁面内にフラックストラップを持たないバスケットでは、断面十字状のバスケット構成材を一体で押出し成形できる場合もある。このような場合には、一体で押出し成形した断面十字状のバスケット構成材 (図示せず) を組み合わせて、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成してもよい。このようにすると、一体で成形するため強度をより確保でき、また摩擦攪拌接合による接合も不要であるので、製造に手間を要さない。さらに、図示はしないが、バスケットの剛性を高めるためには組み合わせ部の両側または片側を、摩擦攪拌接合すればよい。

【0105】(第一変形例) 図 31 は、実施の形態 4 の変形例に係る使用済み燃料集合体を収納するバスケットの一部を示す一部断面図である。このバスケット 55 は、実施の形態 4 に係るバスケット 54 と略同様の構成であるが、2 個の L 形部材 109 を摩擦攪拌接合によ

て接合して、軸方向に垂直な断面が十字形状をしたバスケット構成材 19 を構成した点が異なる。図 31 (a) に示すように、L 形部材 109 の接合面同士が当接しており、この部分が接合ツールによって摩擦攪拌接合されてバスケット構成材 19 が製造される。そして、断面十字状のバスケット構成材 19 の端部同士が組み合わさって、バスケット 55 を構成する。

【0106】このバスケット 55 を構成するバスケット構成材 19 は、実施の形態 4 に係るバスケット構成材 18 と比較して構成部品が半分であり、それだけ接合部分も少なく済む。このため、強度的により有利になるので、このバスケット構成材 19 で構成したバスケット 55 も落下の衝撃や振動等に対してより強く、信頼性を高くできる。また、部品点数が少なく済むので、製造が容易である。

【0107】なお、図 31 (b) や (c) に示すように、このバスケット構成材 19 においても、十字断面の交差部分 19c にバスケット構成材 19 をその軸方向に貫く貫通孔 19h-1 または 19h-2 を設けてもよい。このようにすると、この貫通孔 19h-1 等がフラックストラップとなって、使用済み燃料集合体から放射される中性子量をより低減できるので好ましい。また、摩擦攪拌接合においては、溶接と比較して接合部の変形やビードの形成は極めて少ないが、この貫通孔 19h-1 等によって前記変形等を吸収できる。このため、さらに寸法精度の高いバスケット構成材 19 を得ることができる。

【0108】(第二変形例) 図 32 は、実施の形態 4 の第二変形例に係るバスケットを示す一部断面図である。このバスケット 56 は、複数の部材 110a~110c を接合してバスケット構成材 20 を作り、この端部同士を組み合わせるバスケット 56 を構成する点に特徴がある。なお、説明の便宜上、フラックストラップは省略するが、PWR 用の使用済み燃料集合体を収納する場合には、セル 56c を囲むバスケット構成材 20 の側壁に軸方向に貫く貫通孔を設けてフラックストラップとすることができる (以下同様)。バスケット構成材を構成する部材 110a、110b および 110c は摩擦攪拌接合によって接合されて、バスケット構成材 20 を構成する。そして、このバスケット構成材 20 の端部は、もう一つのバスケット構成材の開放端と組み合わさって、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成する (図 32 (a))。ここで、バスケット構成材 20 で囲まれる空間が、使用済み燃料集合体を収納するセル 56c である。なお、部材 110a、110b および 110c はその長手方向すべてにわたって接合しなくともよく、例えば上述したタップ接合や、部材 110a 等の両端のみを接合してもよい。このようにすると、よりバスケット構成材 20 を組み立て易くなる。

【0109】このように、上記バスケット構成材 18 等

(図26、27参照)と比較してバスケット構成材の単位が大きいので、バスケット構成材20同士を組み合わせるための開放端の数をより少なくすることができる。このため、衝撃や振動に対するずれに対してより強くなるので、堅牢なバスケット56を得ることができる。なお、上記バスケット構成材20の他に、バスケット構成材の単位を図32(b)に示すような単位としてもよい。この場合には、上記バスケット構成材20よりもさらに構成単位が大きくなるので、より堅牢なバスケット56aを得ることができる。

【0110】なお、バスケット構成材20aの製造をより簡単にするため、このバスケット構成材20aでは、一箇所接合していない部分56dがある。しかし、この周囲における部材110c等は接合してあるため、全体としての強度は十分維持できる。このように、製造を簡略化するために、一部の部材同士を接合しないでバスケット構成材20aを組み立ててもよい。このようにすると、製造に要する手間を軽減しつつ、十分な強度を維持できる。

【0111】図33は、実施の形態4の第二変形例に係るバスケットのもう一つの例を示す一部断面図である。同図に示すように、バスケット構成材21や21aを構成する部材111a~111cを、上記バスケット構成材20等よりも細かくしてもよい。このようにすると、接合の手間はやや増えるが、部材110a等の押出し加工が容易になる。このため、押出しダイスの寿命が短い場合や、押出し成形機の能力が十分でない場合等には、このバスケット57等を適用すると好ましい。

【0112】(第三変形例)図34は、実施の形態4の第二変形例に係るバスケットの他の例を示す一部断面図である。このバスケット58は、複数の部材112等におけるすべての端部同士を接合して、使用済み燃料集合体を収納するセル58cを格子状に構成する点に特徴がある。なお、接合には摩擦攪拌接合等の母材であるA1を半溶融の状態にして接合する接合方法が適用できる。

【0113】このバスケット58は、バスケットを構成するすべての部材112を接合し、バスケット58全体を一体として形成している。このため、バスケット58の剛性を極めて高くできるので、落下の衝撃や振動等に対して非常に堅牢なバスケット58を得ることができる。また、すべての部材112を接合しているので伝熱性能も優れている。このため、使用済み燃料の崩壊熱を効率的にバスケット58の外部へ逃がすことができる。なお、伝熱性能および強度が許容できれば、部材112の長手方向すべてにわたって摩擦攪拌接合しなくとも、例えば部材112の両端のみを摩擦攪拌接合してもよい。このようにすると、接合部分を少なくできるので、バスケット58を容易に製造ができる。

【0114】なお、図34(b)に示すバスケット58aのように部材を組み合わせてもよい。このようにする

と、接合箇所は多くなるが、部材112aの寸法が小さくなる分、より部材112aを製造しやすくなる。PWR用使用済み燃料集合体を収納するバスケットはフラックストラップを設けるが、この場合にはフラックストラップの分だけ表面積が大きくなるので、部材112aは押出しにくくなる。したがって、PWR用のバスケットを構成する場合には、バスケット58aを適用すると、より容易に部材112aが押し出せるので好ましい。

【0115】(実施の形態5)ここでは、使用済み燃料集合体を収容するラックとして、上記角パイプ式に代えて平板式とした例について説明する。この場合は角パイプではなく、平板状の部材を押し出すことになる。図35は、平板式のラックを示す斜視図である。この平板式ラック60では、まず、B-A1粉末焼結材のピレットを押出すことによって幅が300mm~350mm程度の板状部材61を成形する。続いて、機械加工等によってそれぞれの板状部材61に複数のスリット62を連設する。そして、この板状部材61をスリット62部分で縦横交互に係合させて格子状断面を形成する。そして、平板式ラック60を複数重ねることで、長さが4m程度の使用済み燃料集合体を収納できる程度の高さとする。

【0116】この平板式ラック60の最外周には平板式ラック60と同じ材料か、同様の材料で作られた伝熱板63が取り付けられている(図35(b))。この伝熱板63は、板状部材61と伝熱板63との接合部64を摩擦攪拌接合することによって取り付けられている。そして、使用済み燃料の崩壊熱を平板式ラック60の外へ放出する。伝熱板63は摩擦攪拌接合によって平板式ラック60に取り付けられているため、BやB化合物の凝集が起らず、良好な接合ができる。また、図35

(c)に示す平板式ラック60aでは、伝熱板63aをセル間に渡して摩擦攪拌接合によって接合し、板状部材61aと一体化させて平板式ラック60aを構成する。このように、平板式ラック60(図35(b))と比較して使用する板の数を少なくでき、また、接合箇所も少なくできるので、平板式ラック60aの製造が容易になる。また、接合後の変形も小さくできる。ここで、接合ツール210は、紙面に垂直な方向に進行して、伝熱板63aと板状部材61aとを摩擦攪拌接合する。なお、この平板式ラック60または60aは、キャスクやキャニスタ内に設置して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットとして使用する他、使用済み燃料プールのラックなどに用いることができる。

【0117】(実施の形態6)この実施の形態においては、角状パイプ15'(図15参照)で構成したバスケット52'(図15参照)を放射性物質格納容器の一種であるキャスクに収納する場合を例にとって説明するが、適用できるバスケットはこれに限られるものではない。上記実施の形態1~5において説明した角状パイプやバスケット構成材あるいはラックで構成した使用済み



燃料を収納するバスケットはすべて適用できる。また、キャスクのみならず、キャニスタに上記バスケット 5 2' を組み込んでもよい。

【0118】図 36 は、この発明の実施の形態 6 に係るキャスクを示す斜視図である。図 37 は、図 36 に示したキャスクの径方向断面図である。このキャスク 250 において、胴本体 251 および胴本体 251 の底板 254 は、 $\gamma$  線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。前記胴本体 251 と底板 254 は、溶接により結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋 230 と胴本体 251 との間には金属ガスケットを設けておく（図示省略）。

【0119】胴本体 251 の外周には、複数の板状部材 301 が取り付けられている。この板状部材 301 は、矩形状の鉄板、アルミニウム板、銅板、鉄と銅とのクラッド板または鉄とアルミニウムとのクラッド板等の、熱の良導材料を折り曲げ成形したものであり、キャスク 250 の外筒に相当する部分が山形（山形部 307）に成形されている。また、板状部材 301 の端縁 302 は、隣接する板状部材 301 の折り曲げ後部分 303 に溶接されている。

【0120】また、板状部材 301 と胴本体 251 の外面とで構成されるボイド層 312 の空間を除いた空間には、中性子を吸収するため、水を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン、ポリウレタン、またはシリコンその他の中性子吸収材料（以下同様）が充填してある。さらに、収納する使用済み燃料の崩壊熱量が多い場合には、板状部材 301 と胴本体 251 の外面とで形成されるボイド層を含む空間に、熱伝導性に優れたアルミニウム製または銅製のハニカム材 310 を設ける。このハニカム材 310 のセルは、キャスク 250 の軸方向に形成し、その周囲は前記空間の内面 311 に接触させる。胴本体 251 からの伝熱効率を向上させるためである。また、このハニカム材 310 の一部には、中性子吸収材料 256 を充填する。その一方で、ハニカム材 310 の外周側には、中性子吸収材料 256 などの熱膨張を吸収するため、中性子吸収材料 256 を充填しないボイド層 312 を設ける。前記ハニカム材 310 と中性子吸収材料 256 とは別の場所で充填複合化され、前記空間に挿入固定される。また、前記空間にハニカム材 310 を挿入した状態で、流動状態の中性子吸収材料 256 を注入し、熱硬化反応等で固化させるようにしてもよい。

【0121】蓋部 209 は、一次蓋 230 と二次蓋 231 により構成される。この一次蓋 230 は、 $\gamma$  線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋 231 もステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には中性子遮蔽体として上記中性子吸収材料（代表的にはレジン：図示省略）

が封入されている。一次蓋 230 および二次蓋 231 は、ステンレス製または炭素鋼のボルトによって胴本体 251 に取り付けられている。さらに、一次蓋 230 および二次蓋 231 と胴本体 251 との間にはそれぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。キャスク 250 本体の両側には、キャスク 250 を吊り下げるためのトラニオン 217 が設けられている。なお、キャスク 250 の搬送時にはその両側に緩衝体 218 を取り付けるとよい。

10 【0122】胴本体 251 の内面は、使用するバスケット 52' の外形に合わせた形状となり、使用済み燃料集合体を収納したときには、当該バスケット 52' の外面が胴本体 251 に対して略密着状態となる（ただし、現実的には微小な隙間が生じることがある）。なお、胴本体 251 の内面を略完全にバスケット 52' の外形に合わせる必要はなく、バスケット 52' の外面の一部が接触しないような形状にすることもでき、これらの割合は熱伝導率を考慮しながら適宜設計することができる。

20 【0123】この実施の形態に係るバスケット 52' は、角状パイプ 15'（図 15 参照）を千鳥状に配列してある。そして、この角状パイプ 15' の内部および角状パイプ 15' で囲まれる空間が、使用済み燃料集合体を収納するセル 52c となる。このセル 52c は 37 個形成されているため、このバスケット 52' は、計 37 体の使用済み燃料集合体（PWR 用）を収容することができる。なお、セル 52c の個数は 37 個に限られるものではない。また、このキャスク 250 は BWR 用使用済み燃料集合体格納用としても使用することができる。BWR 用の燃料は PWR 用の燃料よりも寸法が小さいため、収納できる使用済み燃料集合体の本数は PWR 用よりも多くできる。

30 【0124】バスケット 52' の外周には、角状パイプ 15' 同士をつなぐ伝熱板 52f が摩擦撓接合によって接合されている。これによって伝熱板 52f で連結された角状パイプ 15' 間の伝熱性能を高くできる。また、角状パイプ 15' 同士が固定されることになるので、バスケット 52' もその分強く拘束されてより堅固なものとなる。なお、キャスク 100 の胴本体 251 の内面を凸状に成形し、この部分で角状パイプ 15' を支えるようにしてもよい。また、バスケット 52' の製造を容易にする観点からは、伝熱板 52f を角状パイプ 15' に接合しなくともよい。

40 【0125】バスケット 52' の外形は八角形に近い形状となるので、胴本体 251 の内面も大まかに見て八角形となる。このキャスク 250 においては、バスケット 52' の外側各面に対向するように胴本体 251 の外面を八角形に形成する。これにより、胴本体 251 の厚みが全体的に略均一になり、余分な厚みがなくなることで、キャスク 100 の重量を軽減できる。また、 $\gamma$  線遮蔽性能は必要十分な範囲で確保されることになる。

【0126】胴本体251の内面および外面の加工は、専用の機械加工装置を用いて行う。詳しくは、本願出願人による特願平11-249314号公報を参照されたい。なお、この実施の形態では胴本体251の形状を8角形にしているが、これに限定されるものではない。すなわち、バスケット52'の外形に合わせて胴本体251の形状を角に丸みをもたせた4角形や12角形などにもすることもできる(図示省略)。

【0127】このキャスク250は、この発明に係る角状パイプやバスケット構成材等によって構成されたバスケットを格納する。このため、使用済み燃料集合体を収納するキャスク等を比較的安価で容易に提供できる。また、上記バスケットは堅牢な構造であるので、衝撃や振動に強いキャスク等を提供できる。

【0128】(実施の形態7) 上記実施の形態1から4に係る角状パイプやバスケットを構成するための板状材等は、B-A1の粉体焼結材を押し出し成形して製造される。つぎに、上記角状パイプやバスケットを構成するための板状材等の製造方法について説明する。

【0129】(製造例1) 本発明の実施の形態1~5に係る板状材100等(図1等参照)は、A1またはA1合金粉末に中性子吸収性能を持つBまたはB化合物の粉末を添加したアルミニウム複合材またはアルミニウム合金により構成されている。これは、バスケットは挿入した使用済み燃料集合体が臨界に達することを防止する機能が必要だからである。

【0130】ここで、天然ボロンには中性子の吸収に寄与するB<sup>10</sup>と中性子の吸収には寄与しないB<sup>11</sup>がある。したがって、中性子吸収能を有するB<sup>10</sup>を濃縮したものを使用すると、同じボロンの添加量であれば天然ボロンをそのまま使用した場合と比較してB<sup>10</sup>が多くなる分だけ中性子吸収能は高くできる。したがって濃縮ボロンを使用すると、同じ中性子吸収能であれば、天然ボロンをそのまま使用した場合よりも薄い板厚の角パイプで済む。このため、濃縮ボロンを使用するとより薄い板厚で同じ中性子吸収能を持たせることができるので、バスケットを軽量化したい場合は濃縮ボロンを使用することが好ましい。

【0131】B以外の中性子吸収材としては、ボロンの他にカドミウム、ハフニウム、希土類元素などの中性子吸収断面積の大きなものを用いることができる。希土類元素には、ユーロピウム、ディスプロシウム、サマリウム、ガドリニウムなどの酸化物を用いることができる。ここで、沸騰水型炉(BWR)の場合には、主にBまたはB化合物が用いられるが、加圧水型炉(PWR)の場合には、Ag-In-Cd合金が用いられる。Bを分散形材料として用いる場合は、加工しやすくするため7重量%以下にするのが好ましい。また、Ag-In-Cd合金の組成は、Inを15重量%、Cdを5重量%にするのが一般的である。

【0132】つぎに、板状材100等の具体的な製造方法の一例について説明する。図38は、この発明にかかる角パイプの製造方法を示すフローチャートである。まず、アトマイズ法などの急冷凝固法によりA1またはA1合金粉末を作製するとともに(ステップS201)、BまたはB化合物の粉末を用意し(ステップS202)、これら両粒子をクロスロータリーミキサー、Vミキサー、リボンミキサー、バグミキサー等によって10~20分間混合する(ステップS203)。なお、混合は、アルゴン雰囲気中で行うようにしてもよい。また、用いるアルミニウム粉末の平均粒径は35 $\mu$ m、B、Cの平均粒径は10 $\mu$ m程度である。

【0133】前記A1またはA1合金には、純アルミニウム地金、Al-Cu系アルミニウム合金、Al-Mg系アルミニウム合金、Al-Mg-Si系アルミニウム合金、Al-Zn-Mg系アルミニウム合金、Al-Fe系アルミニウム合金などを用いることができる。また、前記BまたはB化合物には、B<sub>4</sub>C、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などを用いることができる。ここで、アルミニウムに対するボロンの添加量は、1.5重量%以上、9重量%以下とするのが好ましい。1.5重量%以下では十分な中性子吸収能が得られず、9重量%より多くなると引っ張りに対する延びが低下するためである。さらに、加工しやすくする観点からは、ボロンの添加量を7重量%以下にするのが好ましい。

【0134】つぎに、混合粉末をラバーケース内に入れて封入し、CIP(Cold Isostatic Press)により常温で全方向から均一に高圧をかけ、粉末成形を行う(ステップS204)。CIPの成形条件は、成形圧力を1000kg/cm<sup>2</sup>~2000kg/cm<sup>2</sup>とする。CIP処理により、粉状体の体積は約2割減少し、その予備成形体の直径が600mm、長さが1500mmになるようにする。CIPによって全方向から均一に圧力を加えることにより、成形密度のばらつきが少ない高密度な成形品を得ることができる。また、CIP工程において、予備成形体の重量密度が75%~95%となるように成形する。

【0135】また、CIPに代えて、一軸方向の高圧プレスによって予備成形体を成形することもできる。具体的には、上記混合粉末をプレス機にセットした型内に入れ、5000tonから10000tonの高い成形圧力をもって予備成形体を成形する。このように極めて高い圧力をもってプレスすることで、予備成形体の成形密度が均一化される。この成形密度の均一化の程度は、上記CIP工程によって得られる程度と略同等となるようにするのが好ましく、そのときは目的の成形密度を基準として上記成形圧力を決定すればよい。また、CIPと比較して、ラバーケース内に混合粉末を入れて真空引きする必要がなく、型内に混合粉末を入れて押し固めれば済むので、比較的簡単に予備成形作業を行うことができ

る。

【0136】つぎに、予備成形体を焼結炉内に入れて真空引きし、無加圧状態で焼結を行う（ステップS205）。真空焼結時の真空度は $10^{-1}$  Torr程度とし、温度は550℃～600℃とする。焼結温度の保持時間は5時間～10時間の間で適宜設定する。ここで、焼結温度は、脱気しつつ100℃ピッチでステップ昇温させる。加熱には、焼結炉に設けた黒鉛ヒータを用いる。この真空焼結によって仮に固めた粉末同士が融合してネックを形成し、押出用のピレットとなる。また、真空焼結の際にHIPやホットプレスのような加圧は行わないので、焼結体の重量密度は予備成形時と殆ど変わらず、75%～95%の状態を維持している。さらに、真空焼結によってピレットの酸化が防止され、且つキャニングを省略できるため、缶代が節約でき、缶除去のための外削、端面削等の切削工程が不要になるとともに、それに付随する缶封入等の製造工程を省略することができる。

【0137】そして、ポートホール押出機を用いて当該ピレットを熱間押出する（ステップS206）。この場合の押出条件として、加熱温度を500℃～520℃、押出速度を5m/minとする。なお、この条件は、Bの含有量により適宜変更する。ポートホール押出機の押出力は、5000ton～6000tonとする。ポートホール押出機は、コンテナの周囲に誘導加熱用の高周波コイルを備えており、この高周波コイルにRF電流を流すことで、ダイス内のピレットを誘導加熱することができる。

【0138】前記誘導加熱は、ピレットに誘導電流を発生させることで加熱するものであるが、加熱対象であるピレットは上記真空焼結工程において各混合粉末を融合させた状態としているため、誘導電流がピレット全体として発生し効率的な加熱が可能となる。実際に供試材として、重量2510g、寸法φ89mm×175mm、体積1100mm<sup>3</sup>、相対密度85%となる2つの予備成形体をCIPにより作成し、その一方のみに真空焼結処理を施し両者を比較した。この結果、CIPのみで固めた供試材の電気伝導度は7%であったが、真空焼結を施した供試材は37%となり5倍以上の電気伝導度を示した。

【0139】さらに、この供試材を誘導加熱したところ、真空焼結を施した供試材の場合、誘導加熱の昇温プログラム（200℃/minで520℃まで昇温後、一定時間保持）通りに温度上昇し、供試材のエッジ部、中間部の表面および内部中心における温度のばらつきが少なく、どの位置でも略均一に温度上昇していることが判った。一方、CIPのみで固めた供試材の場合、昇温プログラム通りに昇温できず昇温速度が50℃/min程度に留まった。これにより、電気伝導度の向上が押出時の誘導加熱時間に関係し、本発明のように真空焼結を施すことで昇温プログラムに追従して温度上昇させること

が可能であることが判った。その結果、真空焼結することで誘導加熱の効率が飛躍的に高まり、ピレットの押出速度を向上できるという利点が得られる。

【0140】そして、コンテナ内で誘導加熱されたピレットは、後方からポンチにより押され、ダイスで所定の押出形状をした板状材100等として押し出される。このとき、ピレットの重量密度は75%～95%であるが、押出成形することで押出時に粉末粒子間の空隙がつぶされるため、板状材100等の重量密度は略100%となる。つぎに、押出成形後、引張矯正を施すとともに（ステップS207）、非定常部および評価部を切断し、製品とする（ステップS208）。なお、上記製造工程は、ピレットの成形工程と押出工程とが別の場所で行われるか、または時間をおいて行われる場合に有用である。

【0141】また、真空焼結ラインと押出ラインが連続した製造ライン等のように真空焼結工程と押出工程とが時間的に近接して行われる場合、真空焼結時に550℃～600℃まで温度上昇させているため、焼結終了後、少なくとも押出温度である500℃以上となる熱領域でコンテナ内に挿入し、そのまま押出すようにしてもよい。具体的には、真空炉内からピレットを取り出し、このピレットの温度が下がらないうちに押出機まで搬送する。そして、押出機によって板状材100等に押出成形する。なお、加熱したピレットを空气中に曝しても、短時間であれば酸化による影響を殆ど無視できるので、板状材100等の性能に影響することは殆どない。好ましくは、ピレットを真空炉から取り出し、15分以内に押し出すようにすれば、酸化の影響が殆ど問題ではなくなる。以上のようにすれば、誘導加熱によってピレットを再加熱する必要がないため、さらに製造工程を簡略化することができる。

【0142】この場合も、真空焼結によってピレットの酸化が防止され、且つキャニングを省略できるため、缶代が節約でき、缶除去のための切削工程が不要になるとともに、それに付随する缶封入等の製造工程を省略することができる。また、真空焼結時の温度が下がらないような保温チャンバー内に一時的かつ短時間保管し、少なくとも500℃以上の温度領域でピレットを押出機のコンテナ内に移すようにしてもよい。この場合は、真空焼結ラインと押出ラインとが連続している必要はなく、場所的に離れていても問題ない。さらに、真空焼結ラインと押出ラインとの距離が小さく、ピレットの搬送時間が短かければ、上記同様に真空加熱の熱によって押出成形を行うことができることはいうまでもない。

【0143】また、上例では押出機に、圧縮率が高く、アルミニウムなどの軟質材の複雑形状押出しに適したポートホール押出機を用いたが、これに限定されない。たとえば、固定または移動マンドレル方式を採用してもよい。また、直接押出しの他、静水圧押出しを行うように

してもよく、当事者の可能な範囲で適宜選択することができる。さらに、生産効率は低いが、上記誘導加熱に代えて、ビレットを加熱炉内でバッチ処理するようにしてもよい。

【0144】（製造例2）つぎに、板状材100等の具体的な製造方法の一例について説明する。図39は、この発明に係る板状材等の他の製造方法を示すフローチャートである。まず、アトマイズ法などの急冷凝固法によりA1またはA1合金粉末を作製するとともに（ステップS401）、BまたはB化合物の粉末を用意し（ステップS402）、これら両粒子をクロスロータリーミキサー、Vミキサー、リボンミキサー、バグミキサー等によって10～20分間混合する（ステップS403）。なお、得ようとする合金の性質によっては、アルゴン雰囲気中で混合するようにしてもよい。また、用いるA1粉末の平均粒径は35 $\mu$ m、B、Cの平均粒径は10 $\mu$ m程度である。

【0145】つぎに、混合粉末をラバーケース内に入れて10<sup>-1</sup>Torr程度まで真空引きした後、気密テープにより真空封入し、CIP（Cold Isostatic Press）により常温で全方向から均一に高圧を与え、粉末成形する（ステップS404）。CIPの成形条件は、成形圧力を100MPa～200MPaとする。CIP処理によって粉状体の体積は2割ほど減少し、その予備成形体の直径が600mm、長さが1500mmになるようにする。CIPによって全方向から均一に圧力を加えることにより、成形密度のばらつきが少ない高密度な成形品を得ることができる。

【0146】続いて、前記予備成形体をアルミニウム缶（アルミニウム合金継目無缶：JIS6063）に真空封入する。缶内は、10<sup>-1</sup>Torr程度まで真空に引かれて、300℃まで昇温する（ステップS405）。この脱ガス工程で缶内のガス成分および水分を除去する。つぎの工程では、真空脱ガスした成形品をHIP（Hot Isostatic Press）により再成形する（ステップS406）。HIPの成形条件は、温度400℃～450℃、時間30sec、圧力6000tonとし、成形品の直径が400mmになるようにする。

【0147】続いて、缶を除去するために機械加工により外削、端面削を施し（ステップS407）、ポートホール押出機を用いて機械加工後の成形品（ビレット）を熱間押出しする（ステップS408）。この場合の押出条件として、加熱温度を500℃～520℃、押出速度を5m/minとする。なお、この条件は、Bの含有量と押出し成形品の寸法・形状により適宜変更する。つぎに、押出成形後、引張矯正を施すとともに（ステップS409）、非定常部および評価部を切断し、製品とする（ステップS410）。

【0148】なお、上記例では押出機に、圧縮率が高く、A1などの軟質材の複雑形状押出しに適したポート

ホール押出しを用いたが、押出し機はこれに限定されない。例えば、固定または移動マンドレル方式を採用してもよい。また、直接押出しの他、静水圧押出しを行うようにしてもよく、当事者の可能な範囲で適宜選択することができる。さらに、上記HIPを用いることによりニヤネットシェイプ成形が可能になるが、後に押出し工程があることに鑑み、これに代えて擬似HIPを用いるようにしても十分な精度を確保することができる。具体的には、一軸方向に圧縮する金型内に圧力伝達媒体であるセラミック粒状体を入れ、焼結するものである。この方法によっても、良好な板状材100等を製造することができる。

【0149】また、上記HIPに代えて、ホットプレスを使用することもできる。ここで、ホットプレスとは、耐熱型を加熱して一軸加圧下で焼結する方法をいう。上記例の場合、予備成形体を缶に封入して真空脱ガスした後、400℃～450℃の温度で10秒～30秒間加熱し、6000tonの圧力条件下でホットプレスする。後に押出し工程があるので、ホットプレスによっても十分な品質のビレットを製作できるが、ビレットのサイズその他の条件により焼結状態が好ましくない場合は、HIPを用いるようにすれば良い。ホットプレスの利点は、生産性が良く、安価である点にある。さらに、ホットプレスの他に常圧焼結法を用いる場合もある。

【0150】（製造例3）図40は、板状材等のもう一つの製造方法を示すフローチャートである。この板状材100等の製造方法は、同図に示すように、上記例における缶封入および真空加熱脱ガス（ステップS405）、HIP（ステップS406）、外削および端面削（ステップS407）に代えて、真空ホットプレスを用いた点に特徴がある（真空ホットプレス工程：S305）。その他の工程は、上記製造例1と略同様であるからその説明を省略する（ステップS301～S304、S306～S308）。

【0151】図41は、この板状材等の製造方法に用いる真空ホットプレス装置を示す構成図である。この真空ホットプレス装置70は、ダイ71と、ダイ71の内面に設けたダイリング72と、ベース73と、パンチ74とから構成されている。これらはいずれもグラファイト製である。ダイリング72、ベース73およびパンチ74により構成される成形室内には、CIP工程において製作した予備成形体Pを挿入する。ダイ71の周囲には、加熱用の黒鉛ヒータ75が配置されている。

【0152】また、ダイリング72、ベース73およびパンチ74などは、真空ベッセル76内に収容されている。真空ベッセル76には、真空引き用のポンプ77が取り付けられている。前記パンチ74は、真空ベッセル76の上部に設けた油圧シリンダ78により駆動される。前記ダイ71の内側にダイリング72を設けたのは、加圧後にビレットが抜けやすいようにするためであ

る。なお、ダイ 71 の内径は直径 350mm 程度である。また、実際にホットプレスを行う際には、摺動部位に潤滑材を塗布または噴霧するようにする。潤滑材には、BN などを用いることができる。なお、上記では片押し法を例示しているが、両押し法あるいはフローティング法を用いることもできる。

【0153】真空ホットプレスを行うには、まず、ダイ 71 内に潤滑材を塗布した後に予備成形体 P を挿入し、その上からパンチ 74 をセットする。つぎに、真空ベッセル 76 内を所定圧力まで真空引きするとともに黒鉛ヒータ 75 により室内を 400℃～500℃まで昇温する。また、当該温度帯域は、30分～60分維持するようにし、加圧は 200℃程度で開始するようにする。そして、予備成形体 P を加圧焼結後、真空ベッセル 76 内からダイ 71 ごと取り出して当該ダイ 71 からピレット B を取り出す。この際、ピレット B を外側から押し出すことになるが、ダイリング 72 もピレット B とともに多少押し出されて、当該ピレット B が容易に取り出せるように作用する。取り出したピレット B は、つぎの押出工程（ステップ S306）にて押し出され、引張矯正（ステップ S307）、切断工程（ステップ S308）を経て、最終品の板状材 100 等となる。

【0154】以上、この板状材 100 等の製造方法によれば、キャニングを省略するとともに真空ホットプレスを用いてピレット B を成形するようにしたので、缶代が節約でき、また缶除去のための切削工程（ステップ S407）が不要になるとともに、それに付随する製造工程（ステップ S405）を省略することができる。このため、角状パイプ 10（図 1 参照）やバスケット 54（図 26 参照）等を効率的且つ低コストで製造することができるようになる。

【0155】（製造例 4）図 42 は、板状材等の第三の製造方法を示すフローチャートである。この板状材 100 等の製造方法は、同図に示すように、上記例における缶封入および真空加熱脱ガス（ステップ S405）、HIP（ステップ S406）、外削および端面削（ステップ S407）に代えて、放電プラズマ焼結を用いた点に特徴がある（放電プラズマ焼結工程：ステップ S505）。放電プラズマ焼結は、過渡アーク放電現象の火花放電エネルギーを利用して加圧下で焼結するものである。その他の工程は、上記適用例 1 と略同様であるからその説明を省略する（ステップ S501～S504、S506～S508）。

【0156】図 43 は、この板状材等の製造方法に用いる放電プラズマ焼結装置を示す構成図である。この放電プラズマ焼結装置 80 は、グラファイト製のダイ 81 と、上部電極および下部電極を兼ねた上下のパンチ 82、83 と、上下のパンチ 82、83 にパルス電流を供給する電源 84 と、電源 84 を制御する制御部 85 と、ダイ 81 およびパンチ 82、83 を収容する真空ベッセル 89 と、真空ベッセル 89 内の真空を引くポンプ 86 と、パンチ 82、83 を駆動する油圧シリンダ 87、88 とから構成される。CIP による予備成形体 P は、ダイ 81 およびパンチ 82、83 により形成した成形室に挿入する。

【0157】放電プラズマ焼結は、焼結エネルギーを制御しやすいこと、取り扱いが容易であること等の種々の利点があるが、高速で焼結できる点がこの製造方法において重要である。すなわち、上記ホットプレスでは、例えば、焼結時間が約 5 時間かかるのに対し、放電プラズマ焼結では約 1 時間で済む。このように、高速焼結が可能であるので、製造時間を短縮できる。

【0158】上記放電プラズマ焼結の条件は、真空ベッセル 89 内の真空度を  $10^{-1}$  Torr とし、約 10 分で 500℃まで立ち上げる。そして、この温度領域を 10 分～30 分間維持し、5～10 ton で加圧する。上下のパンチ 82、83 間にパルス電流を印加すると、予備成形体 P 内で放電点が移動し、全体に分散する。火花放電の部分では、局所的に高温状態（1000℃～10000℃）になって粒子間接触部が点から面に成長し、ネックを形成して溶着状態となる。これにより、硬い酸化皮膜を形成する Al 系材料であっても、放電プラズマのスパッタ作用によって Al 表面の酸化皮膜を破壊するから、ピレットを容易に焼結することができる。

【0159】以上、この板状材 100 等の製造方法によれば、ホットプレスを用いる場合に比べて焼結時間を短縮化できる。また、放電作用によりアルミニウムの不動態皮膜を破壊するから、容易に焼結することができる。なお、キャニングを省略したことによる利点については、上記適用例 2 の場合と同様である。なお、放電プラズマ焼結の他、熱プラズマ焼結法を用いることもできる。熱プラズマ焼結法は、超高温のプラズマ熱を用いて無加圧焼結を行うものである。さらに、通常の放電焼結により製造することもできる。

【0160】（製造例 5）ここでは、MA（メカニカルアロイング）を適用して Al 粉末に B<sub>4</sub>C 粉末を微細且つ均一に分散させて Al 合金粉末を作り、この粉末を焼結させてできるピレットを本発明に係る押出しダイスを用いて角パイプを製造する例について説明する。

【0161】上記製造例においては、使用済み燃料集合体格納用角状パイプ等を構成する板状材 100 等の材料としてボロンを添加した Al 合金を用いている。ここで、添加元素である B<sub>4</sub>C の平均粒径が大きいと板状材 100 等の強度が低くなり、その一方、B<sub>4</sub>C の平均粒径を小さくすると B<sub>4</sub>C 同士が凝集して偏析するため、中性子吸収能の低下や加工性の悪化が生じてしまう。したがって、Al 粉末の平均粒径は 80 μm であり B<sub>4</sub>C 粉末の平均粒径は 9 μm が好ましく、当該 B<sub>4</sub>C の粒径を 9 μm としたのは、これ以上粒径を小さくすると B<sub>4</sub>C 粉末の凝集が進んで偏析が生じやすくなるからであ



る。そこで、この製造例 5 では、上記製造例 1～4 における混合機に代えて、高エネルギーボールミリング（メカニカルアロイング）を用いることで、A1 粉末と B、C 粉末との微細化および均一分散化を図るようにした。

【0162】当該高エネルギーボールミリングには、一般的な転動ミル、揺動ミルおよびアトライターミルを用いることができるが、次の説明ではアトライターミルを使用した場合について例示する。図 44 は、製造例 5 に係る板状材等の製造方法に用いるアトライターミルの構成図である。アトライターミル 90 の容器 91 には 150 リットルの容量のものを用いる。当該容器 91 の壁内にはウォータージャケット 92 が形成されている。ウォータージャケット 92 内にはポンプなどの給水器 93 から適量の冷却水を供給する。アトライター 94 は、上方に配置した駆動モータ 95 と減速機 96 を介して結合している。容器 91 の上面には、容器 91 中を不活性ガスであるアルゴン（Ar）雰囲気にするため、流入口 97 および流出口 98 が設けられている。流入口 97 にはアルゴンガスのガスポンプ 99 が接続され、流出口 98 にはホース 98a を接続して水中に入れ、大気の流れを防止する。また、このボールミリングに使用するボール 94a には、炭素鋼ベースの軸受鋼（SUJ-2）に所定の被覆を施したボールを用いる。

【0163】実際に A1 粉末を製造する場合の条件として、前記容器 91 内に入れるボール 94a の量を 450 kg、当該ボール 94a の径を 3/8 インチとした。また、アトライター 94 の回転数は 300 rpm とし、さらに、0.5 リットル/分のアルゴンを連続的に流して容器 91 内を不活性ガス雰囲気とした。さらに、ボールミリングの前に、その助剤として粉末 1 kg に対して 30 cc のエタノールあるいはメタノールを投入した。前記容器 91 内に投入する粉末の量は、15 kg とし、このうち、B、C の投入量は 0.75 kg（5 重量％）とした。また、使用する A1 粉末には、平均粒径が 35 μm のものを用い、B、C 粉末には、平均粒径が 9 μm のものを用いた。そして、ボールミリングの時間は 1 時間から 10 時間の範囲で適宜選択するようにした。

【0164】ボールミリングの過程において、投入した A1 は、ボール 94a の衝撃を受けることによってつぶされ、且つ折りたたまれ、扁平形状になる。このため、A1 の外径は一面方向に広がって 80 μm 程度になる。一方、B、C 粉末は、ボールミリングによって破碎され、その粒径が 0.5 μm～1.0 μm 程度まで小さくなるとともに A1 マトリックス中に均一にすり込まれてゆく。このため、微細な分散粒子が母材中に均一分散することになるので、この粉末を焼結した A1 合金は、強度に優れたものとなる。

【0165】つぎに、ボールミリングの過程で、ボール 94a 同士の衝突により当該ボール 94a が磨耗してその成分が不純物として混じることがある。そこで、ボ

ール 94a の成分に予め不純物として添加する元素を含めておき、ボールミリングの過程で当該元素を添加するようにしてもよい。この元素としては、例えば、ジルコンなどを挙げることができる。ボールミリングの終了後は、容器 91 内から A1 粉末を取りだし、ホットプレス工程、押出し工程に進み、板状材 100 等を成形する。

【0166】以上、この板状材 100 等の製造方法によれば、B、C 粉末を微細化、均一化して A1 粉末のマトリックス中に分散させることができるので、板状材 100 等の強度を向上させることができる。具体的には、上記適用例 1～3 の方法により得た板状材 100 等と比較して、その強度を約 1.2～1.5 倍まで向上させることができる。このように、MA によれば強度が向上する結果、より押出し成形しにくくなる。したがって、MA による B-A1 材でこの発明に係る角状パイプやバスケットを製造する場合には、押出し成形が比較的容易な形状の部材を母材である A1 を半溶融状態として接合することが望ましい。特に MA による B-A1 材でフラックスストラップを設けた PWR 用の角状パイプを一体で押出し成形することは、実作業上ほとんど不可能である。このような角状パイプは、本発明に係る角状パイプのような構造としないと、現状ではほとんど製造不可能であり、本発明に係る角パイプの効果は非常に大きい。

【0167】

【発明の効果】以上説明したように、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項 1）では、B-A1 材料を構成する複数の材料のうち溶融温度が低い方の材料の溶融温度以下で、B-A1 材のパイプ構成部材同士を接合した。このため、接合継ぎ手部の靱性は接合前とほとんど変わらず、また、中性子吸収能も接合前と略同等とすることができる。さらに、熱歪も小さく接合後の修正もほとんど要さないもので、製造効率を高くできる。

【0168】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項 2）では、B-A1 材料のパイプ構成部材同士を、母材である A1 が半溶融の状態と接合するようにした。このため、接合部の熱歪が小さく、接合後における修正の手間も少なくすむので製造効率を高くできる。また、分散粒子である B や B 化合物は凝固の際にほとんど凝集しないので、接合継ぎ手部においてはもとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持できる。その結果、これまで押出し成形が困難であった B-A1 材でも、寸法の大きな角状パイプや、断面形状の複雑な角状パイプを得ることができる。

【0169】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項 3）では、材料を溶融させないで接合する摩擦攪拌接合によって B-A1 材のパイプ構成部材同士を接合するようにした。このため、これまで押出し成形が困難であった寸法の大きい B-A1 角状

パイプ等を、複数の部材を接合することで製造できる。また、熱変形も小さいので接合後の修正も軽微であり、製造の手間も軽減できる。

【0170】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項4）では、上記角状パイプの外側角部を落として平面を形成した。そして、この角状パイプを千鳥状に配置して使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成したときには、斜め隣の角状パイプがこの平面同士を当接した状態で組み立てられるようにした。このため、バスケットを組み立てる作業が容易に  
10 できるので、バスケットの製造に手間を要さない。

【0171】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項5）では、上記角状パイプの角部に段部を設けた。そして、この角状パイプを千鳥状に配置して使用済み燃料集合体を収納するバスケットを構成したときには、斜め隣の角状パイプの角部に形成された段部とこの段部とが噛み合うようにした。このため、角状パイプ同士がずれにくくなるので、より堅牢なバスケットを得ることができる。

【0172】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項6）では、その角部においてパイプ構成部材同士を接合してなるようにした。このため、フラックストラップを設ける場合のリップの形成に影響を与えない。したがって、最も適した位置に最適な大きさのリップを形成して、効率のよい設計ができる。

【0173】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項7）では、角状パイプの軸方向に垂直な断面内における角部の接合線が、この断面内における対角線の交点に向かうようにした。このため、比較的小さい部材でパイプ構成部材を拘束できるので比較的小  
30 さい部材で製造できる。

【0174】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項8）では、パイプ構成部材の接合線が対角線に対して角度を持つようにしたので、接合線が対角線の交点に向かう場合と比較して接合面積を大きくできる。これによって接合部の継ぎ手強度が向上する。また接合部における伝熱面積も大きくできるので、使用済み燃料が発生する崩壊熱をより効率よく外部に放出することができる。

【0175】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項9）では、角部内側に、角状パイプの軸方向に向かう溝を設けるようにした。そして、この溝の断面が有する弧の部分に、パイプ構成部材の接合部における接合線が接するようにした。このため、角部における応力集中を緩和できるので、落下の衝撃や振動に対して強いバスケットを構成することができる。また、断面U字状としたので（請求項10）、溝の開口部を大きくしないで溝の深さを調整できる。

【0176】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ（請求項11）では、その側面でパイ  
50

プ構成部材同士を接合するようにした。このため、角状パイプの側面でパイプ構成部材を接合するため容易に製造できるので、製造に手間を要しない。

【0177】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項12）では、上記角状パイプを千鳥状に配置して構成した。このため、PWR用使用済み燃料集合体を収納する使用済み燃料集合体格納用バスケットを比較的安価で容易に提供できる。また、上記角状パイプの接合継ぎ手部分においては、靱性劣化等はほとんど発生しないので、堅牢な構造のバスケットを得ることができる。

【0178】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項13）では、すべてのバスケット構成材同士を接合し、全体を一体として構成するようにした。このため、バスケット全体の剛性を非常に高くできるので、落下の衝撃や振動に対して、極めて堅牢な構造とすることができる。

【0179】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項14）では、四個の上記セルで囲まれる部分には、当該セルの軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けた。このため、斜め隣のセルに向かって透過する中性子の線量を抑制できる。また、バスケット全体の重量を軽減できる。

【0180】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項15）では、バスケット全体を一体として構成するのではなく、複数の部材を組み合わせるバスケット構成材を作り、このバスケット構成材を組み合わせるバスケットを構成するようにした。このため、接合部分が低減するので、製造の手間を大幅に低減できる。また、バスケット構成材の単位をある程度大きくとれば、バスケット全体の剛性も比較的大きくできるので、角状パイプを千鳥状に組み合わせるバスケットよりも堅牢なバスケットを構成しやすい。

【0181】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項16）では、荷重の集中する十字状断面の交差部分を、母材であるA1を半溶融状態としてから接合するようにした。このため、上記角状パイプを千鳥状に配置したバスケットと比較して、この部分の強度を高くできる。したがって、落下の衝撃や振動等に対しても角状パイプによるバスケットよりも強くできるので、より堅牢なバスケットを作ることができる。

【0182】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項17）では、上記使用済み燃料集合体格納用バスケットにおいて、さらに、上記バスケット構成材の少なくとも一つの端部を、このバスケット構成材の母材であるA1を半溶融状態としてから接合し格子状のセルを構成した。このバスケットは、バスケット構成材の端部同士を接合して、より大きなバスケット構成材の単位としてバスケットを構成できる。このため、上記角状パイプを千鳥状に配置したバスケットと比

較して、バスケット全体の剛性をより高くして、より堅牢なバスケットを構成できる。

【0183】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項18）では、断面十字状であるバスケット構成材の交差部分に、このバスケット構成材の軸方向に向かって貫通する貫通孔を設けるようにした。このため、この貫通孔によって斜め隣の使用済み燃料集合体に向かって透過する中性子の線量を抑制できる。また、バスケット全体の重量を軽減できる。

【0184】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項19）では、B-A1材で構成されたバスケット構成材の接合部を半溶融状態として伝熱板を取り付けている。このため、BやB化合物が凝集することなく接合できるので、靱性劣化を最小限に抑えることができる。

【0185】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプ使用または使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項20）では、B-A1のバスケット構成材におけるB含有率を1.5重量%以上7.0重量%以下とした。このため、十分な中性子吸収能を発揮させつつ、十分な靱性を確保できる。さらに、接合に際しては接合部の母材であるA1を半溶融状態で接合して角状パイプやバスケットを構成しているため、靱性の劣化も最小限に抑えることができる。

【0186】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたは使用済み燃料集合体格納用バスケット（請求項21）では、B-A1のバスケット構成材に濃縮ボロンを使用するようにした。このため、天然ボロンをそのまま使用した場合よりも薄い板厚の角状パイプあるいはバスケット構成材で、同じ中性子吸収能を得ることができる。したがって、バスケットをよりコンパクトにでき、さらにこのバスケットを収納するキャスク等の収納容器もよりコンパクトにできる。

【0187】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項22）では、B-A1材で作られた複数の部材同士を、当該部材の母材であるA1を半溶融状態として接合するようにした。このため、接合部の熱歪が小さく、接合後における修正の手間も少なくすむので製造に手間を要さない。また、分散粒子であるBやB化合物は接合の際にほとんど凝集しないので、接合継ぎ手においてほとんどの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持した角状パイプを製造できる。その結果、複数の部材を接合して角状パイプを製造できるので、これまで押出し成形が困難であったB-A1のバスケット構成材でも、寸法の大きな角状パイプや、断面形状の複雑な角状パイプも製造できる。

【0188】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項23）では、この製造方法においては、材料を溶融させ

ないで接合する摩擦撓接合によってパイプ構成部材同士を接合するようにした。このため、角状パイプの継ぎ手においては、もとの材料とほとんど変わらない靱性および中性子吸収能を維持できる。これによって、これまで押出し成形が困難であった寸法の大きいB-A1角状パイプ等を、複数の部材を接合することで製造できる。

【0189】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項24）では、円錐状の胴部を備えた接合ツールを使用するようにした。このため、作業面が谷状であっても接合できるので、段部を設けることによって複雑な形状になった角状パイプも製造できる。

【0190】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項25）では、接合対象である部材同士を突き合わせた接合部であって、摩擦撓接合用の接合ツールの胴部が接する側とは反対側に、A1用ろう材等を配置して、摩擦撓接合するようにした。摩擦撓接合の際には、このA1用ろう材が半溶融状態となったA1母材と一体となるので、バックアップ治具側における部材に発生する接合線を低減できる。その結果、接合線の少ない、より健全な角状パイプや使用済み燃料集合体格納用バスケットを得ることができる。

【0191】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項26）では、粉体冶金や溶製法によって中性子吸収に対する有効元素であるB、および強度付与に対する有効元素をA1母材中へ均一に分散させたビレット材を押出し成形した部材同士を、その母材であるA1が半溶融の状態に接合するようにした。このため、もとの材料の持つ特性を変化させないで接合ができるので、難押出し材であっても押出し成形可能な大きさの部材を接合することで、より大きな使用済み燃料集合体格納用の角状パイプやバスケットを組み立てることができる。

【0192】また、この発明に係る使用済み燃料集合体格納用角状パイプまたはバスケットの製造方法（請求項27）では、高強度化に寄与する有効元素としてTi、Zr、またはFeのうち少なくとも一つを粉体冶金や溶製法によってA1母材中へ均一に分散させたビレット材を押出し成形した部材同士を、その母材であるA1が半溶融の状態に接合するようにした。このため、もとの材料の持つ高強度特性を変化させないで接合ができるので、上記元素を分散させた強度の高い難押出し材であっても、押出し成形可能な大きさの部材を接合することで、使用済み燃料集合体格納用の角状パイプやバスケットを組み立てることができる。

【0193】また、この発明に係る放射性物質格納容器（請求項28）では、上記バスケットを収納しているの

で、PWR用使用済み燃料集合体を収納するキャスク等

を比較的安価で容易に提供できる。また、上記バスケットは堅牢な構造であるので、衝撃や振動に強いキャスク等を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の実施の形態 1 に係る角状パイプの軸方向に垂直な断面を表した断面図である。

【図 2】板状材を摩擦撓接合によって接合する様子を示す説明図である。

【図 3】摩擦撓接合に使用する接合ツールを示す説明図である。

【図 4】板状材を摩擦撓接合によって接合する他の方法を示す説明図である。

【図 5】実施の形態 1 の第一変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 6】実施の形態 1 の第二変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 7】この発明の実施の形態 2 に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 8】実施の形態 2 に係る角状パイプの製造方法を示す説明図である。

【図 9】この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。

【図 10】実施の形態 2 に係る角状パイプを主として BWR 使用済み燃料集合体を収納するバスケットに適用した例を示す説明図である。

【図 11】実施の形態 2 の第一変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 12】この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。

【図 13】実施の形態 2 の第二変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 14】この角状パイプを千鳥状に配列して、使用済み燃料集合体を収納するバスケットを組み立てた状態を示す説明図である。

【図 15】主として BWR 用の使用済み燃料集合体を収納するバスケットに第二変形例に係る角状パイプを適用した例を示す説明図である。

【図 16】実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 17】実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプの製造方法を示す説明図である。

【図 18】実施の形態 2 の第三変形例に係るバスケットを示す説明図である。

【図 19】実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプをバスケットに適用した他の例を示す説明図である。

【図 20】実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプの他の例を示す断面図である。

【図 21】実施の形態 2 の第三変形例に係る他のバスケ

ットを示す説明図である。

【図 22】実施の形態 2 の第三変形例に係る角状パイプをバスケットに適用した他の例を示す説明図である。

【図 23】この発明の実施の形態 3 に係る角状パイプを示す断面図である。

【図 24】実施の形態 3 に係る角状パイプの製造方法を示した説明図である。

【図 25】実施の形態 3 の変形例に係る角状パイプを示す断面図である。

10 【図 26】実施の形態 4 に係る使用済み燃料集合体を収納するバスケットの一部を示す説明図である。

【図 27】実施の形態 4 に係るバスケットを構成するバスケット構成材を示す断面図である。

【図 28】実施の形態 4 に係るバスケット構成材を構成する板状材同士の接合部の一例を示す説明図である。

【図 29】バスケット構成材を構成する板状材同士の接合部の一例を示す説明図である。

20 【図 30】実施の形態 4 に係るバスケット構成材を構成する板状材同士を接合する部分の他の例を示す説明図である。

【図 31】実施の形態 4 の変形例に係る使用済み燃料集合体を収納するバスケットの一部を示す一部断面図である。

【図 32】実施の形態 4 の第二変形例に係るバスケットを示す一部断面図である。

【図 33】実施の形態 4 の上記第二変形例に係るバスケットのもう一つの例を示す一部断面図である。

【図 34】実施の形態 4 の第二変形例に係るバスケットの他の例を示す一部断面図である。

30 【図 35】平板式のラックを示す斜視図である。

【図 36】この発明の実施の形態 6 にかかるキャスクを示す斜視図である。

【図 37】図 36 に示したキャスクの径方向断面図である。

【図 38】この発明に係る角パイプの製造方法を示すフローチャートである。

【図 39】この発明に係る板状材等の他の製造方法を示すフローチャートである。

40 【図 40】板状材等のもう一つの製造方法を示すフローチャートである。

【図 41】この板状材等の製造方法に用いる真空ホットプレス装置を示す構成図である。

【図 42】板状材等の第三の製造方法を示すフローチャートである。

【図 43】この板状材等の製造方法に用いる放電プラズマ焼結装置を示す構成図である。

【図 44】製造例 5 に係る板状材等の製造方法に用いるアトライターミルの構成図である。

【図 45】キャスクの一例を示す斜視図である。

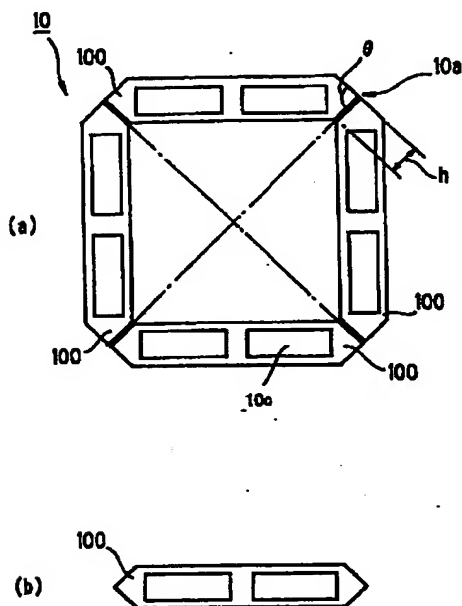
50 【図 46】図 45 に示したキャスクの径方向断面図である。

る。

【符号の説明】

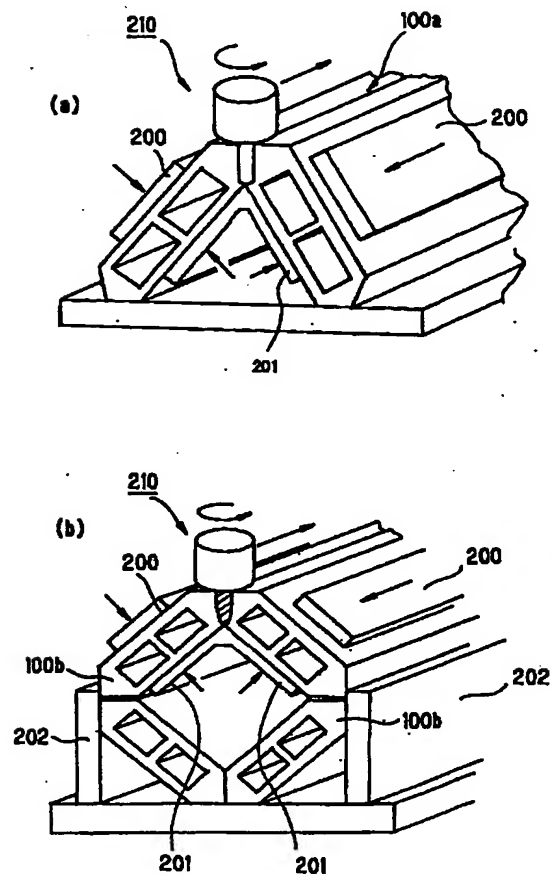
10、11、12、12a、13、14、15、16、  
16e、16f、17、17b 角状パイプ  
10c、15b、17c フラックストラップ  
11c 内側角部  
11a 溝  
14a、13a、15a、16a 段部  
16c 対角線  
16b 接合線  
17L リブ  
18、19、20、20a、21 バスケット構成材  
18a 凸部  
18b 凹部  
18c、19c 交差部分  
18h-1~3、19h-1、2 貫通孔  
50、51、52、52'、53、53e、54、5  
5、56、56a、57、58、58a バスケット

【図1】



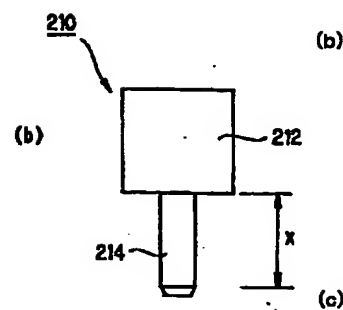
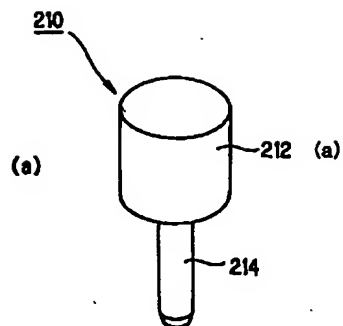
52c、54c、56c、58c セル  
52f 伝熱板  
100、101、103、104、106、108、1  
08a 板状材  
100a 接合部  
102、107、109 L形部材  
104a 接合線  
107a 接合面  
110a、110b、110c、112、112a 部  
10 材  
150、151 A1用ろう材  
200、202、203、205、207 冶具  
201、204、206 バックアップ冶具  
210、211 接合ツール  
212、213 胴部  
214、215 攪拌子  
250 キャスク

【図2】

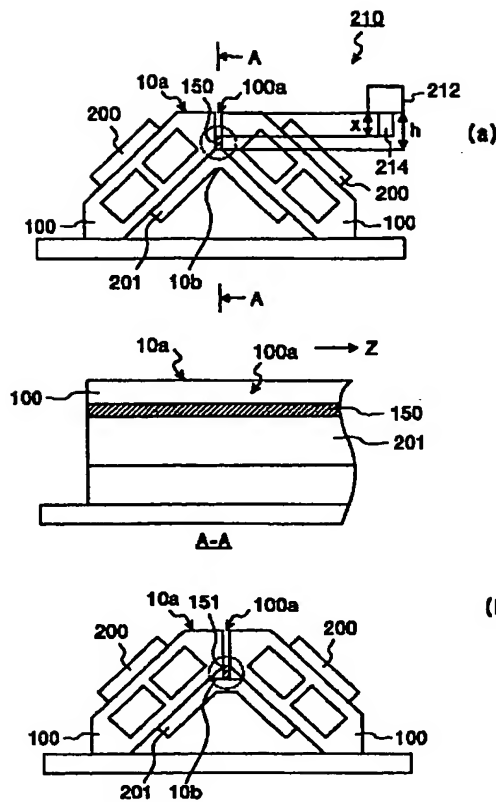




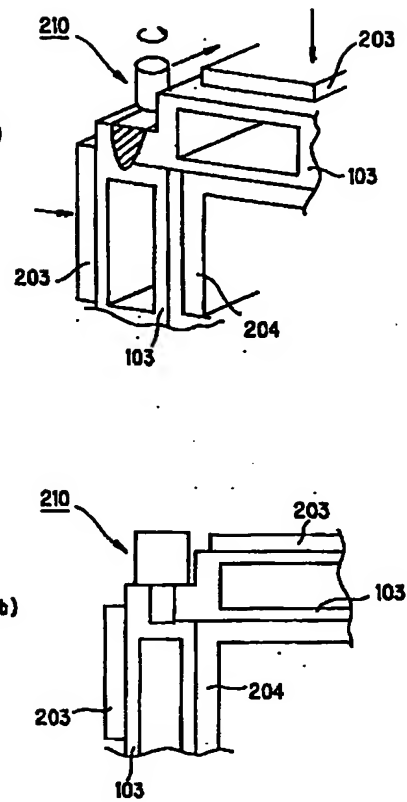
【図 3】



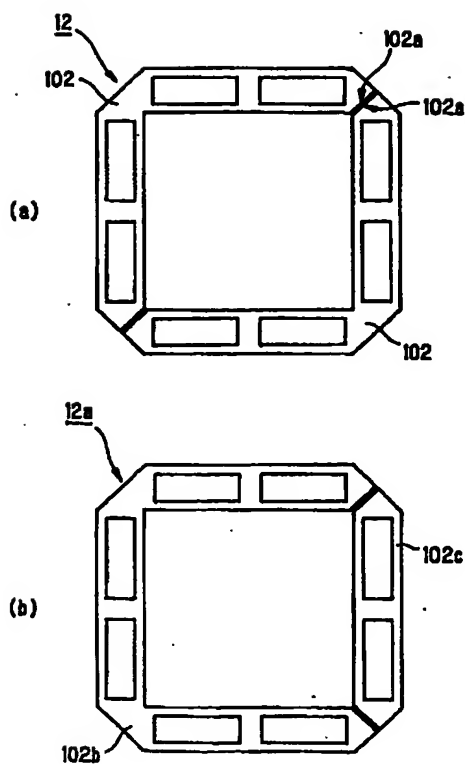
【図 4】



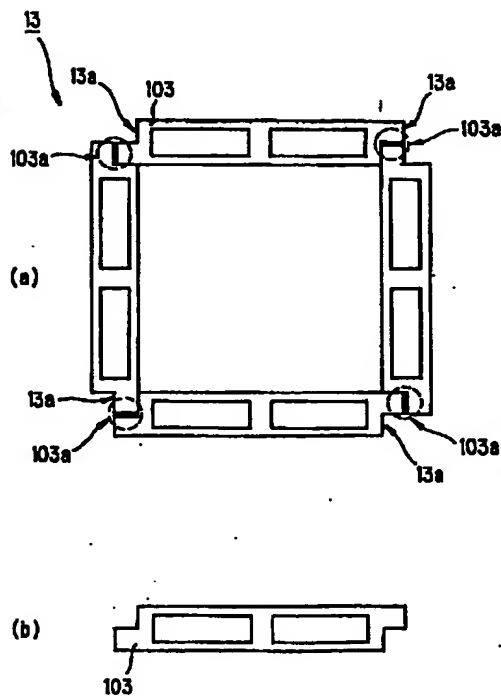
【図 8】



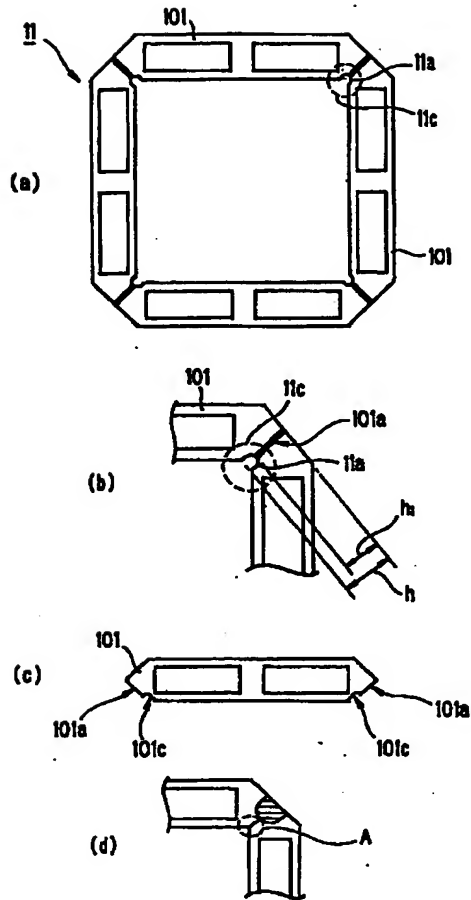
【図 6】



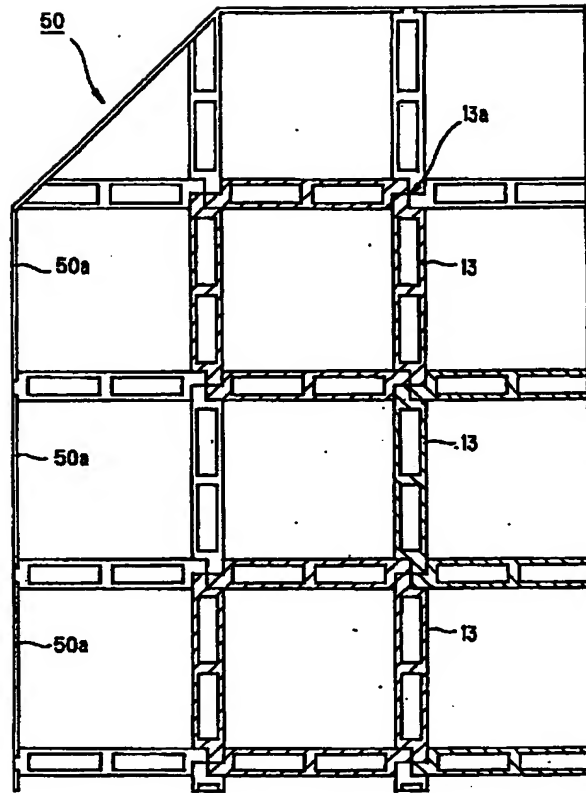
【図 7】



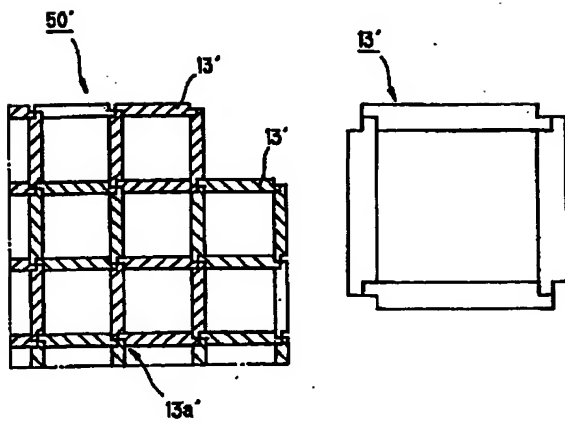
【図 5】



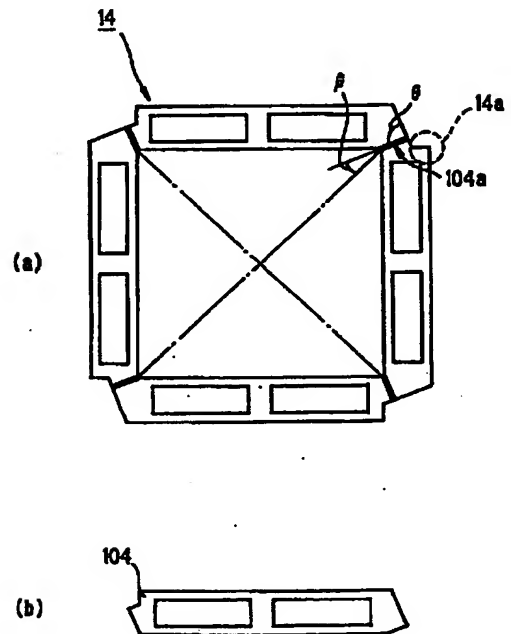
【図 9】



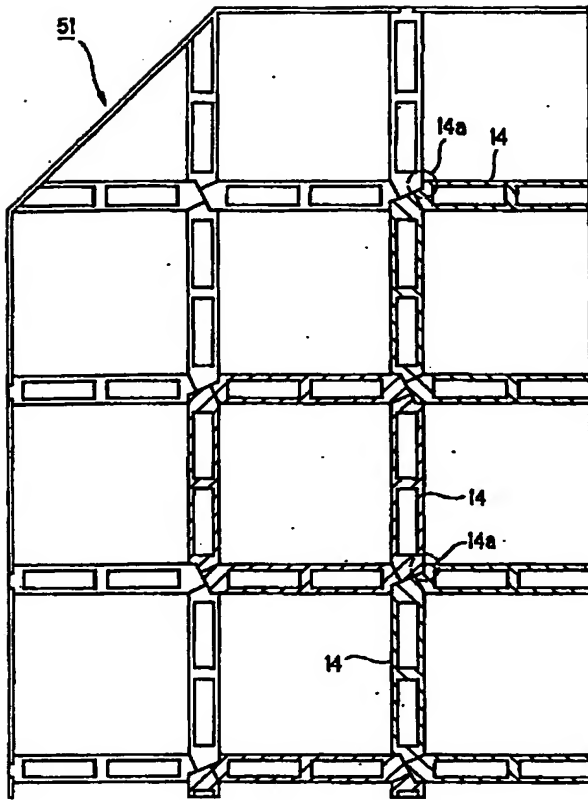
【図 10】



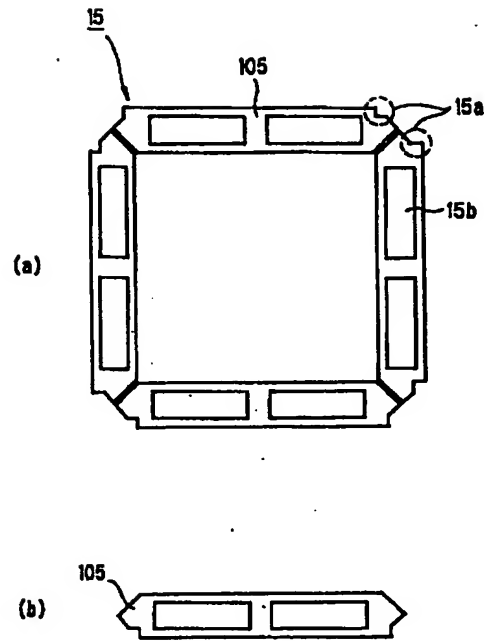
【図 11】



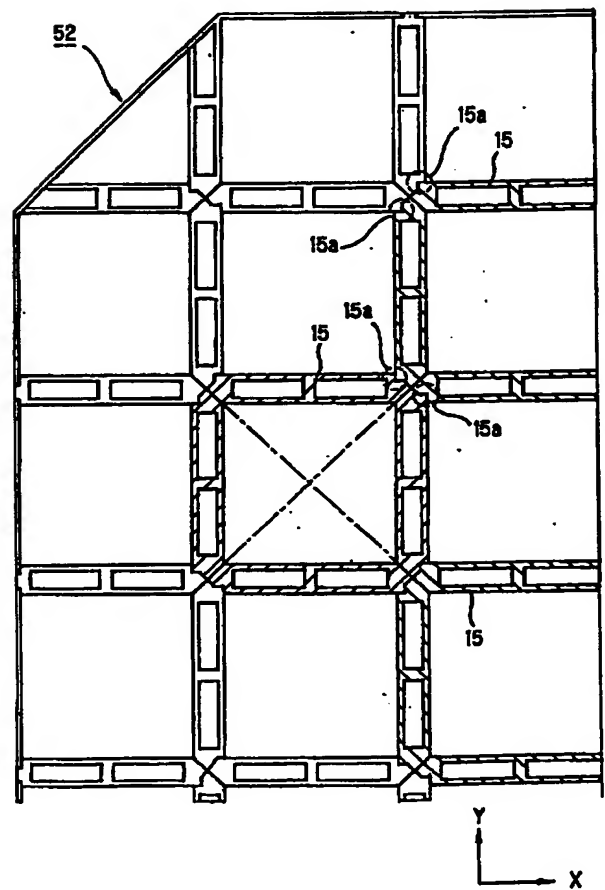
【図 12】



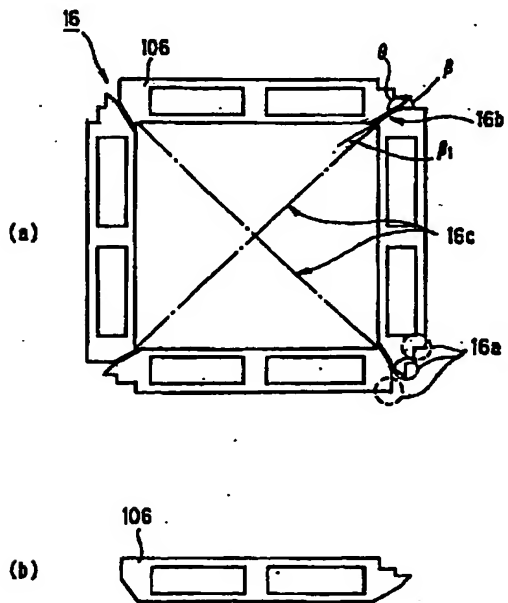
【図 13】



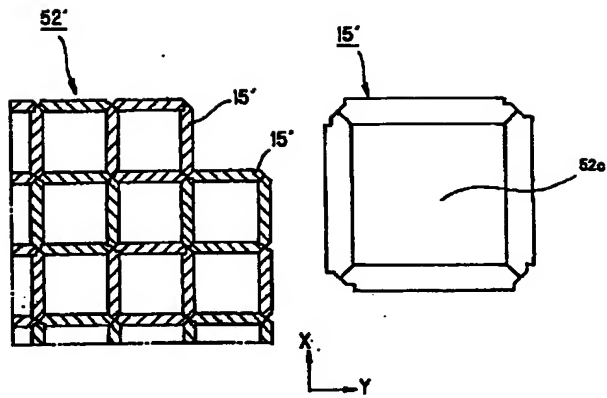
【図 14】



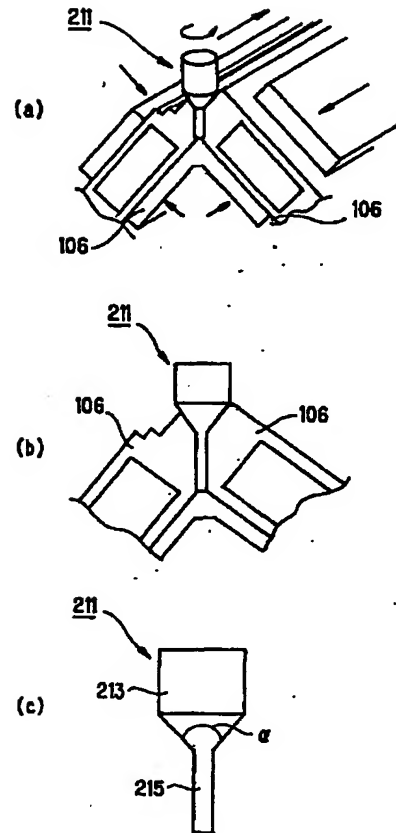
【図 16】



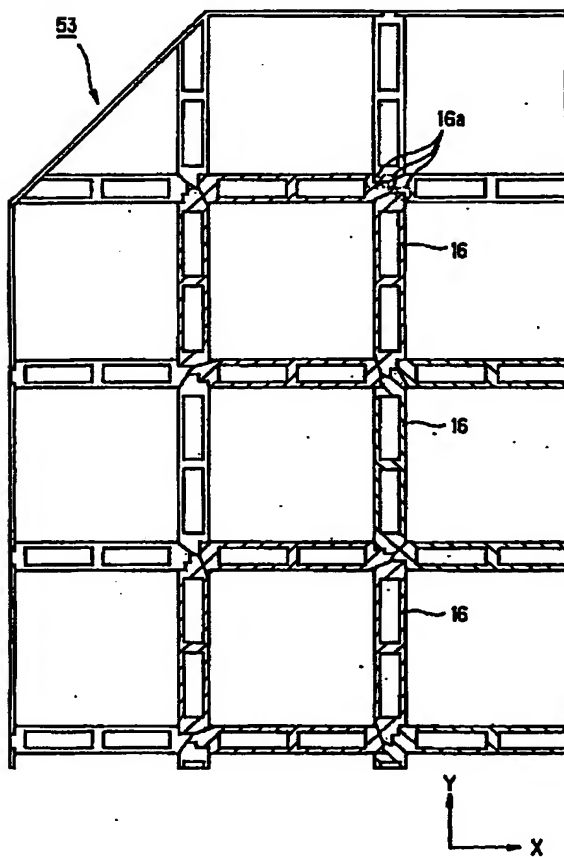
【図 15】



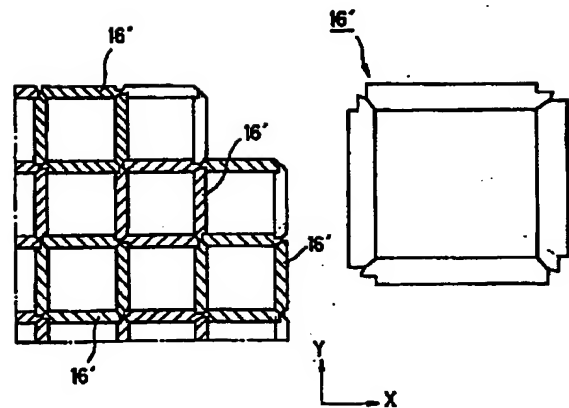
【図 17】



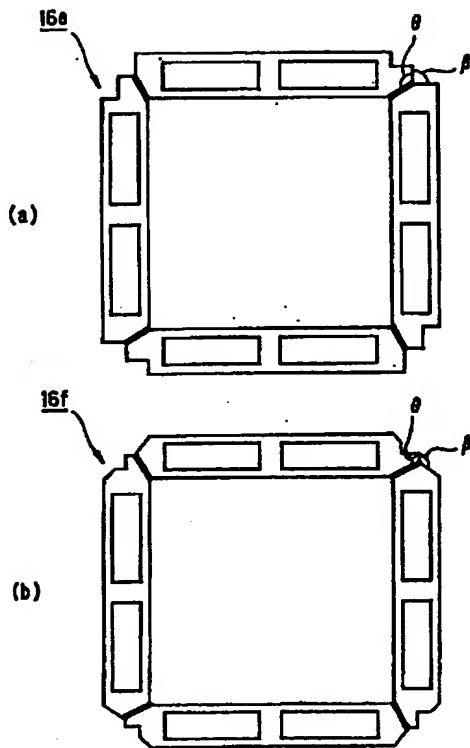
【図 18】



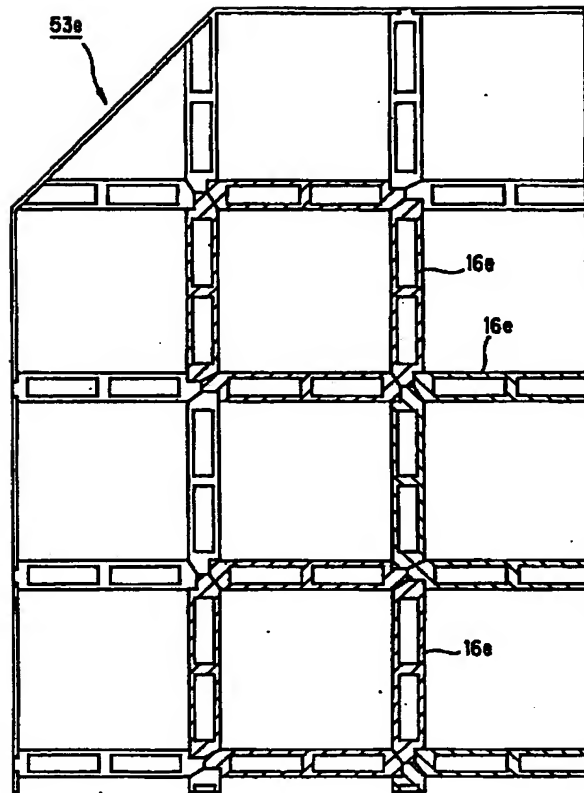
【図 19】



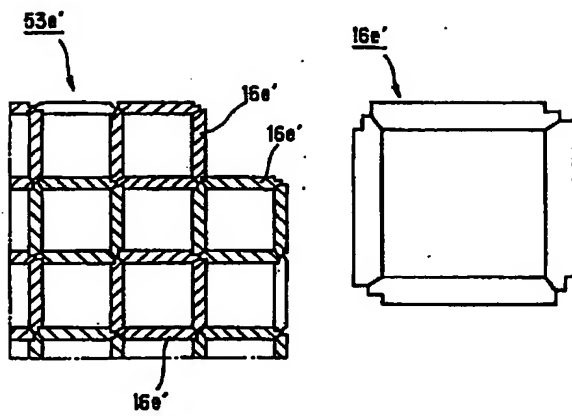
【図 20】



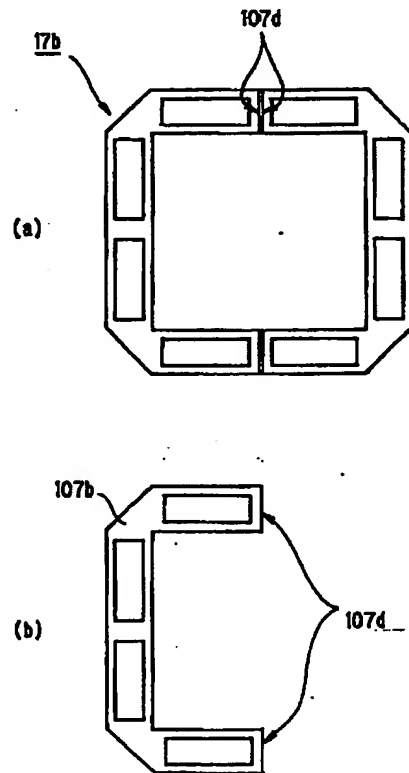
【図 21】



【図 22】

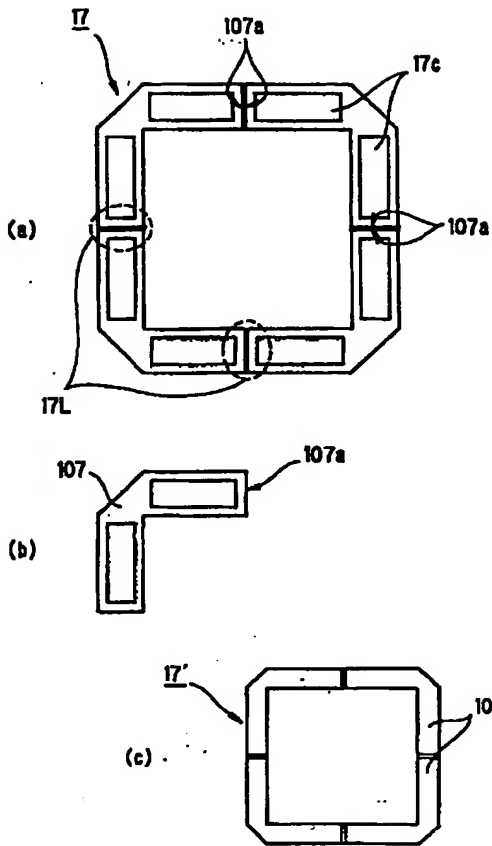


【図 25】

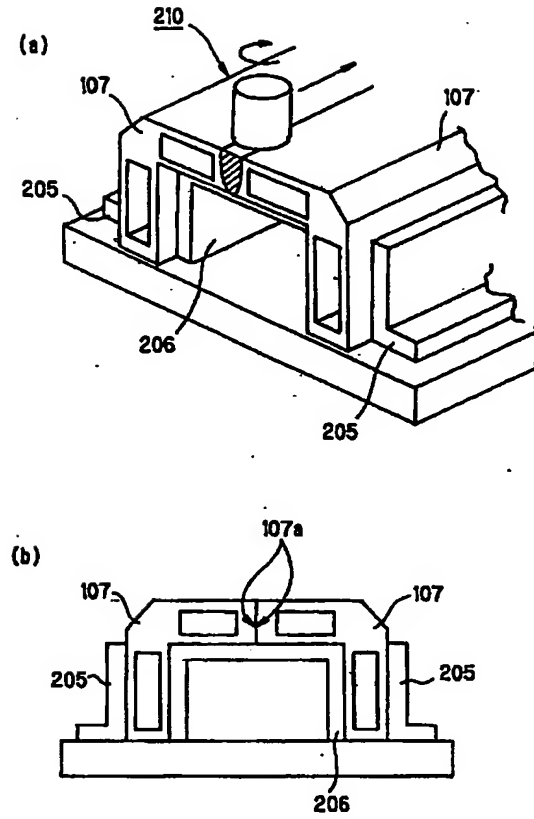




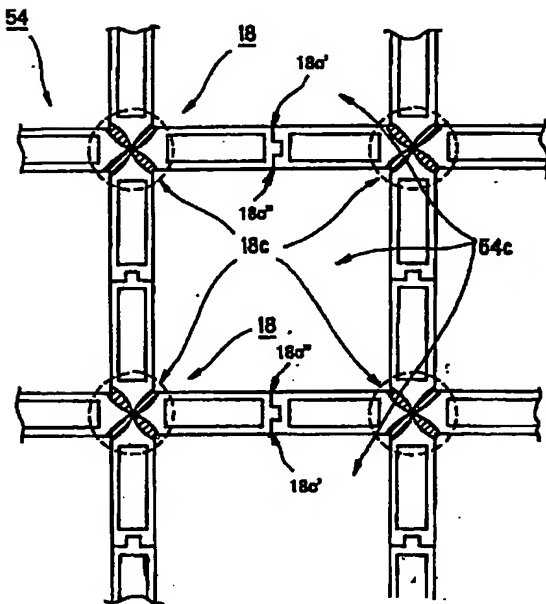
【図 23】



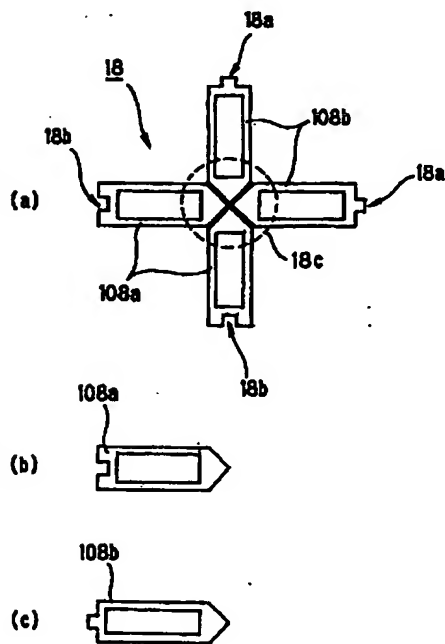
【図 24】



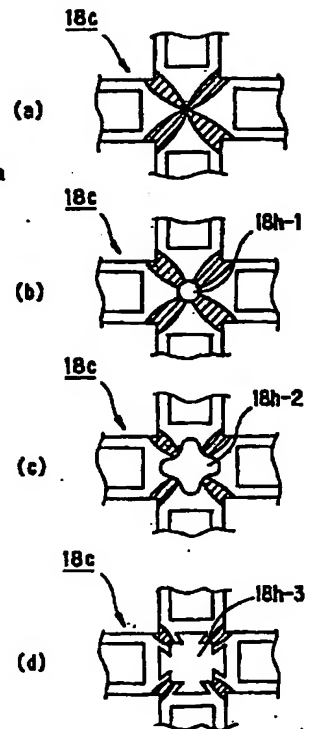
【図 26】



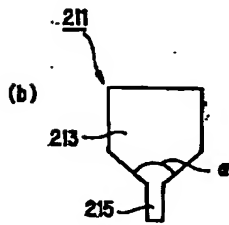
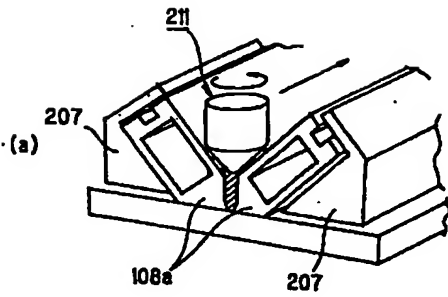
【図 27】



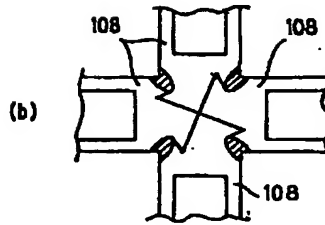
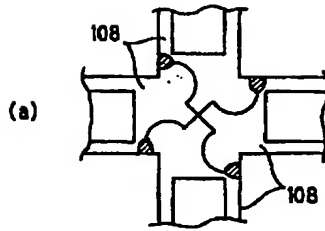
【図 29】



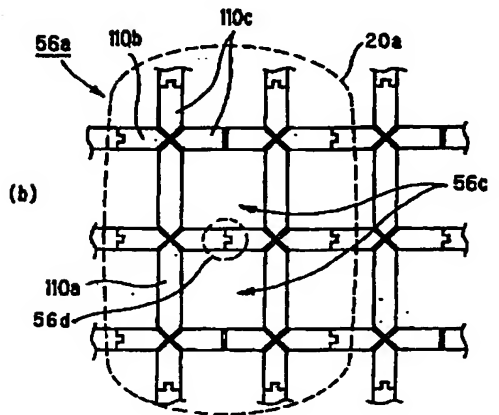
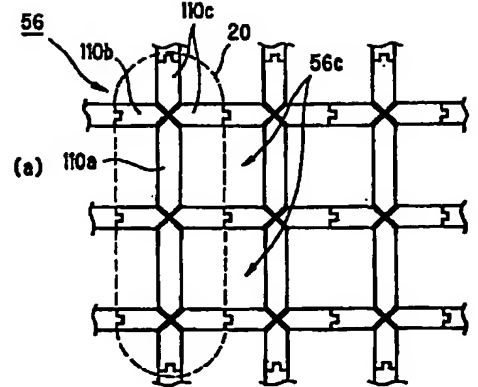
【図 28】



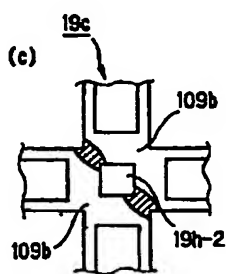
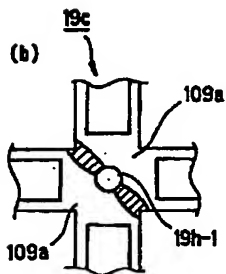
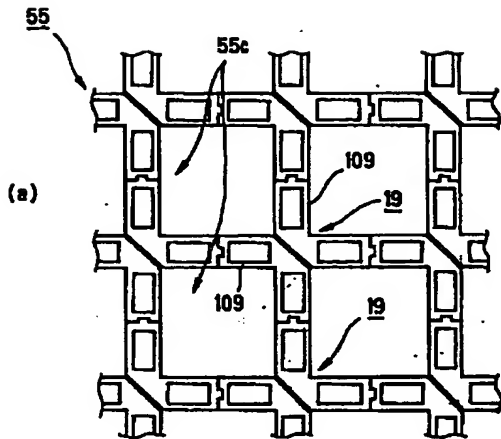
【図 30】



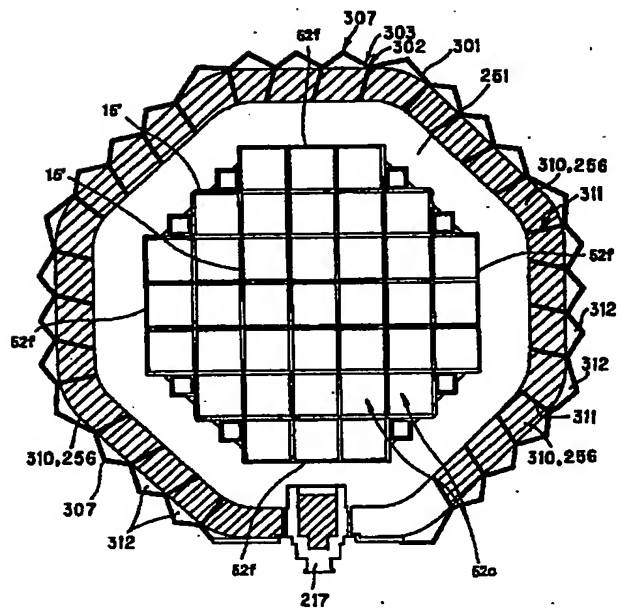
【図 32】



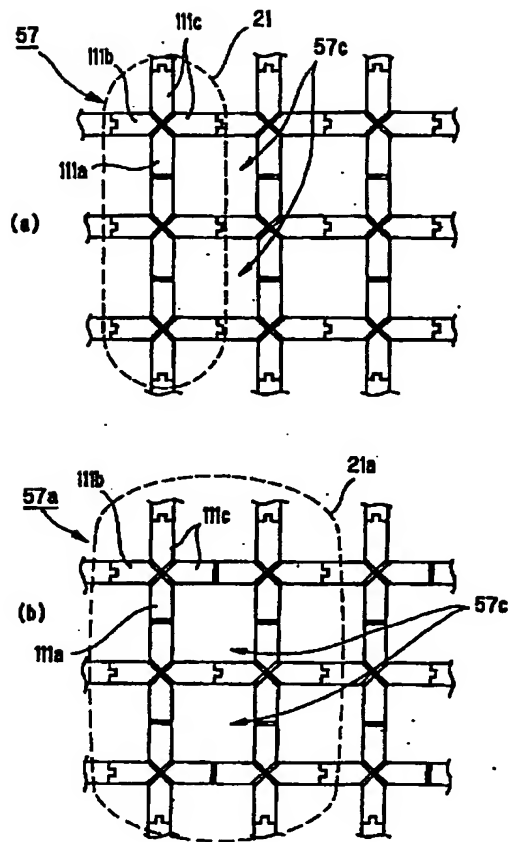
【図 31】



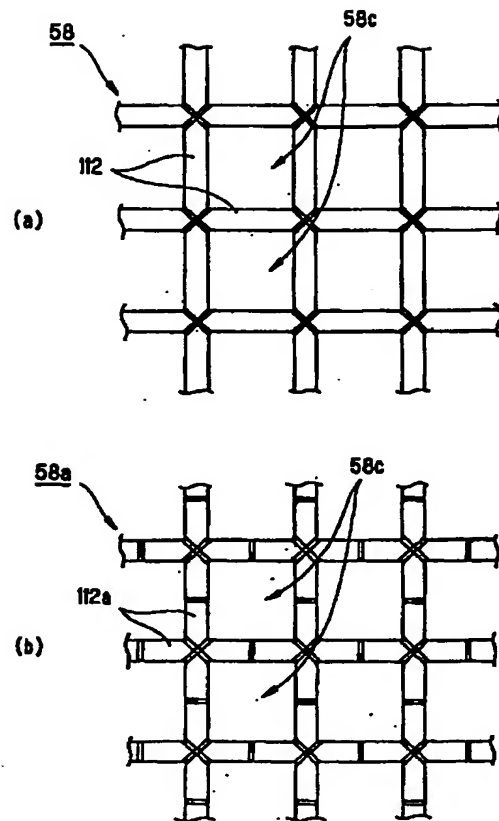
【図 37】



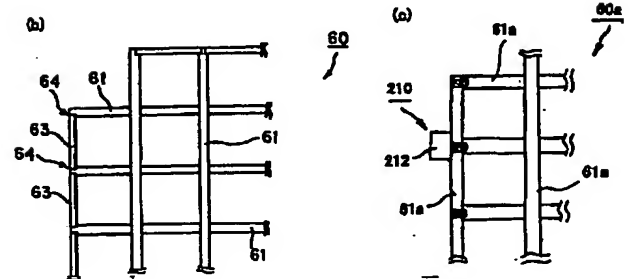
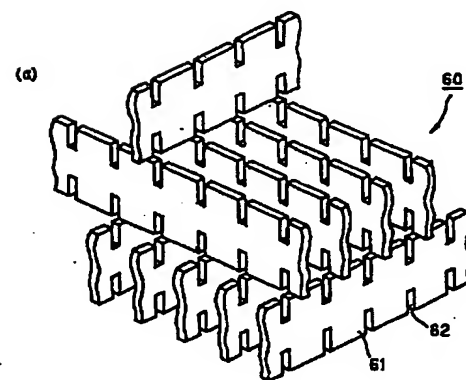
【図 33】



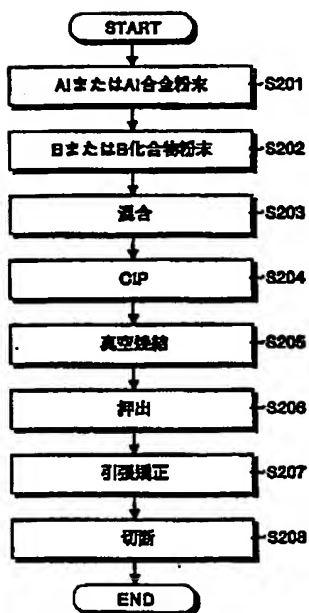
【図 34】



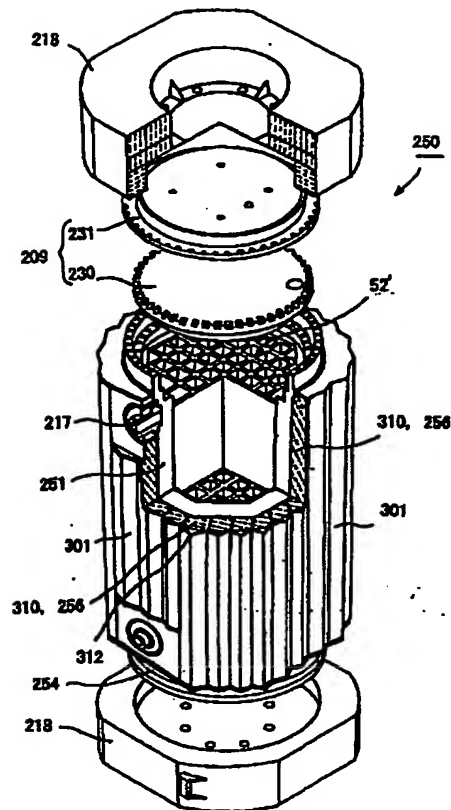
【図 35】



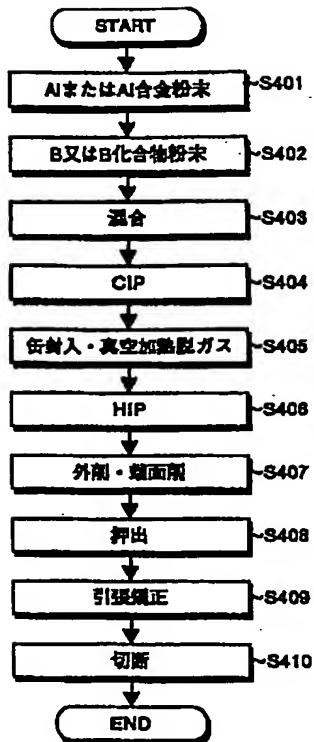
【図 38】



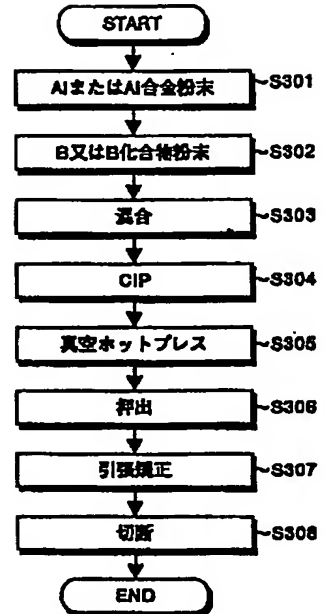
【図 36】



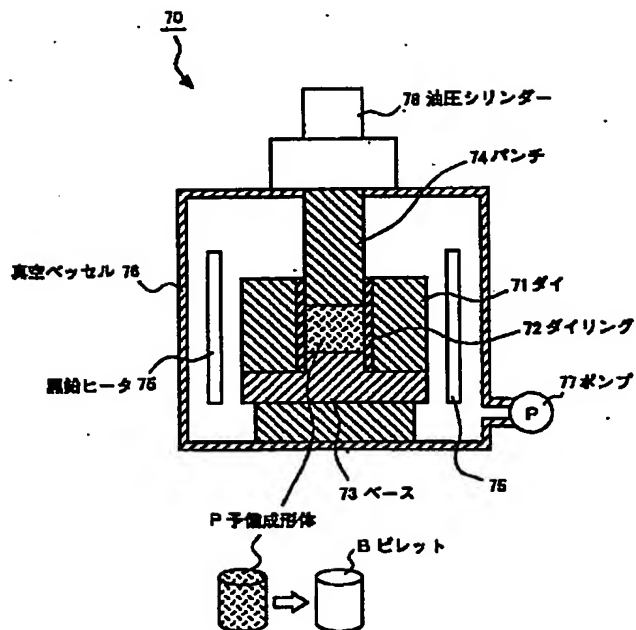
【図 39】



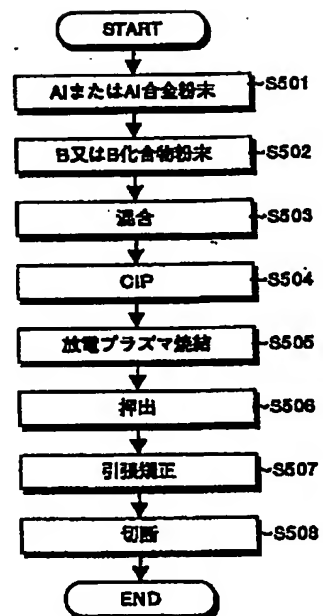
【図 40】



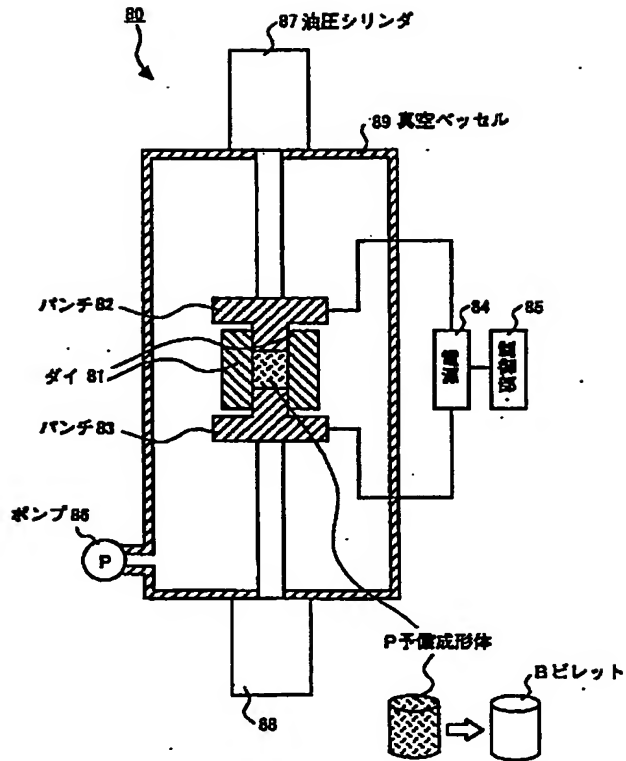
【図 41】



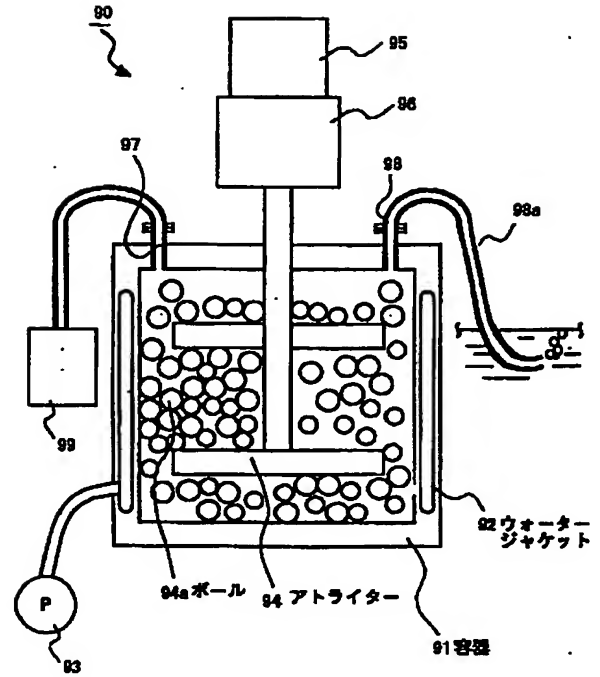
【図 42】



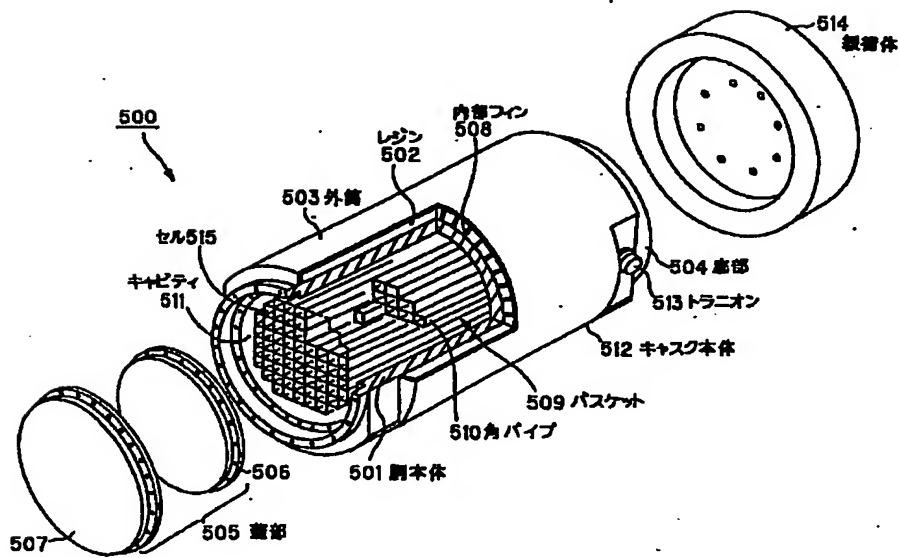
【図 4 3】



【図 4 4】

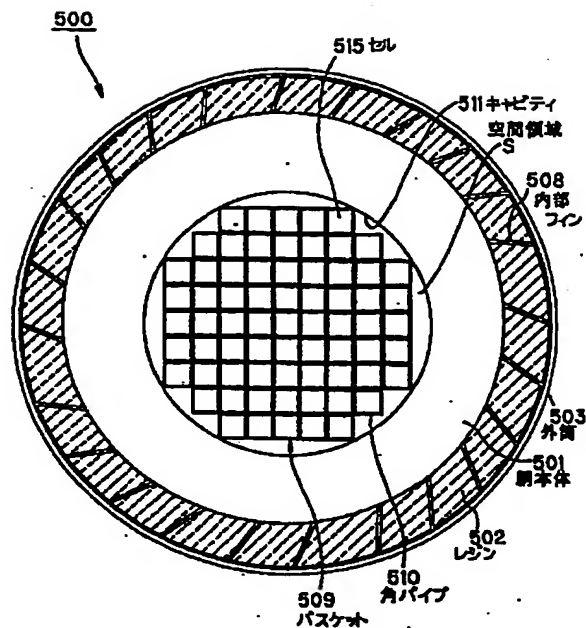


【図 4 5】





【図 46】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターコード (参考)

// B 2 3 K 103:10

G 2 1 F 5/00

K

(72) 発明者 松岡 寿浩

神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三  
菱重工業株式会社神戸造船所内

(72) 発明者 大亀 信二

神戸市兵庫区小松通五丁目 1 番 16 号 株式  
会社神菱ハイテック内

F ターム (参考) 4E067 AA01 DA13 DA17 EC06